

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID
INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL: MECÁNICA

PROYECTO DE FIN DE CARRERA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA TÉRMICA Y DE FLUIDOS



CARACTERIZACIÓN DE UNA COCINA SOLAR PARABÓLICA

JUNIO 2010

AUTOR: MIGUEL MANCHADO MEGÍA

TUTOR: ANTONIO LECUONA NEUMANN

Agradecimientos:

A Doña María del Carmen Rodríguez Hidalgo, por facilitarme todos los datos de la estación meteorológica en los días de ensayo; a Don Manuel Santos, por su ayuda y disposición en todo momento que lo he necesitado durante la toma de datos; y por último, a mi tutor, Don Antonio Lecuona Neumann, por su gran ayuda y dedicación mostrada a lo largo de la realización de todo el proyecto. Muchas gracias a todos.

INDICE DE CONTENIDOS

| | | |
|-----------|---|----|
| 0 . | RESUMEN DEL PROYECTO | 6 |
| 1 . | OBJETIVOS | 8 |
| 2 . | INTRODUCCIÓN | 10 |
| 2.1 . | NECESIDAD DE ENERGÍAS ALTERNATIVAS | 10 |
| 2.1.1 . | CONSUMO DE LAS FUENTES DE ENERGÍA | 11 |
| 2.1.2 . | PROBLEMAS DERIVADOS DE SU USO | 14 |
| 2.1.3 . | ENERGÍAS RENOVABLES | 17 |
| 2.2 . | ENERGÍA SOLAR | 23 |
| 2.2.1 . | EL SOL SOBRE LA TIERRA | 24 |
| 2.2.1.1 . | LUZ SOLAR | 24 |
| 2.2.1.2 . | TIPOS DE RAYOS | 26 |
| 2.2.1.3 . | INSTRUMENTOS DE MEDIDA | 28 |
| 2.2.1.4 . | ZONAS Y HORAS DE SOL. ESTACIONES | 33 |
| 2.2.2 . | LOS RAYOS SOBRE LAS PLACAS REFLECTANTES | 37 |
| 2.2.2.1 . | LEY DE LA REFLEXION | 38 |
| 2.2.2.2 . | MATERIALES REFLECTANTES | 39 |
| 2.2.2.3 . | FACTORES DE REFLEXIÓN | 42 |
| 3 . | COCINAS SOLARES | 43 |
| 3.1 . | DESARROLLO Y EVOLUCIÓN | 44 |
| 3.2 . | IMPACTO SOCIAL | 48 |
| 3.3 . | CÓMO FUNCIONAN | 55 |
| 3.3.1 . | ACUMULACIÓN | 56 |
| 3.3.2 . | CONCENTRACIÓN | 57 |
| 3.3.3 . | TABLA COMPARATIVA (RESUMEN) | 59 |

| | | |
|---------|---|-----|
| 3.3.4 . | OTROS FACTORES | 60 |
| 3.4 . | COCINAS SOLARES | 62 |
| 3.4.1 . | HORNO SOLAR | 64 |
| 3.4.2 . | COCINA DE PANEL. COOKIT | 67 |
| 3.4.3 . | COCINA PARABÓLICA | 71 |
| 3.5 . | OTROS MODELOS | 72 |
| 3.5.1 . | COCINA DEVOS O PRIMROSE | 72 |
| 3.5.2 . | SECADEROS | 74 |
| 4 . | COCINA PARABÓLICA | 76 |
| 4.1 . | PRINCIPIO DE LA PARABOLA | 78 |
| 4.2 . | DISEÑO Y POSICION RESPECTO AL SOL | 80 |
| 4.3 . | RIESGOS DERIVADOS DE SU USO | 84 |
| 4.4 . | MODELOS | 87 |
| 5 . | NORMATIVA ACTUAL | 88 |
| 5.1 . | SOCIEDAD AMERICANA DE INGENIEROS AGRÓNOMOS (ASAE S580) | 90 |
| 5.2 . | OFICINA DE NORMAS DE LA INDIA | 92 |
| 5.3 . | COMITÉ EUROPEO DE INVESTIGACIÓN SOBRE LA COCINA SOLAR. PRUEBA ESTÁNDAR (ECSCR) | 96 |
| 5.4 . | DESARROLLO DE UN MODELO CERO-DIMENSIONAL | 99 |
| 6 . | DATOS EXTRAIDOS DE LAS MEDICIONES | 106 |
| 6.1 . | HOJAS DE DATOS | 109 |
| 7 . | RESULTADOS DE ACUERDO A LA NORMATIVA | 157 |
| 7.1 . | ASAE S580 | 162 |
| 7.2 . | NORMA INDIA | 167 |
| 7.3 . | COMITÉ EUROPEO DE INVESTIGACIÓN (ECSCR) | 171 |
| 7.4 . | DESARROLLO DE UN MODELO CERO-DIMENSIONAL | 174 |

| | | |
|---------|---|-----|
| 8 . | CONCLUSIONES DE LA NORMATIVA _____ | 181 |
| 9 . | CONCLUSIONES GENERALES _____ | 185 |
| 9.1 . | COMPARATIVA CON UNA COCINA CONVENCIONAL _____ | 186 |
| 9.1.1 . | TIEMPOS DE CALENTAMIENTO _____ | 187 |
| 9.1.2 . | POTENCIA DE CALENTAMIENTO _____ | 188 |
| 9.1.3 . | RELACIÓN TIEMPO-POTENCIA _____ | 189 |
| 10 . | ANEXOS _____ | 191 |
| 11 . | BIBLIOGRAFÍA _____ | 198 |
| 11.1 . | ENLACES DE INTERÉS _____ | 201 |

0. RESUMEN DEL PROYECTO

En el proyecto que a continuación se presenta, “Caracterización de una cocina solar parabólica”, se estudia el comportamiento de una cocina solar parabólica desde el punto de vista térmico y con la ayuda de las normativas referentes a las cocinas solares.

Los puntos que se desarrollan a lo largo del proyecto son:

1. La incidencia de los rayos solares sobre la superficie de la tierra. Tipos de rayos, ángulos de incidencia y radiación en función de la época del año, y sus instrumentos de medida.
2. La importancia social de la cocina solar.
3. Explicación de los principios de funcionamiento de los diferentes modelos de cocina solar desarrollados: acumulación, concentración o mixtas.
4. Resumen de las normativas desarrolladas para la caracterización de los dispositivos de cocción solar.
5. Hojas de datos de los ensayos realizados.

Con los datos de las hojas de ensayo y la normativa, se obtienen los datos de potencia y rendimiento óptico característico del modelo de cocina solar estudiado. Se estudian los resultados obtenidos y las posibles diferencias existentes entre los valores que se obtienen de las diferentes normas.

En el último apartado se hace una breve referencia a los libros que han servido de apoyo para desarrollar la mayor parte del proyecto así como ciertos enlaces de interés que aportan una visión general de la cocina solar en todos los aspectos.

1. OBJETIVOS

El principal objetivo que se plantea en este proyecto es el de, a través de la normativa existente de las cocinas solares, obtener unos valores de rendimiento óptico y potencia de cocción que permitan conocer el comportamiento térmico de la cocina.

Con esto se consigue caracterizar la cocina solar y que pueda ser comparada con otros modelos de cocina solar sobre los que se haga un estudio semejante al realizado. Para que este hecho de comparar las cocinas en base a sus rendimientos ópticos sea lo más aproximado posible, se ha hecho la caracterización con la ayuda de ciertos estándares de cálculo ya desarrollados, como son:

- *Sociedad Americana de Ingenieros Agrónomos (ASAE S580).*
- *Oficina de Normas de la India.*
- *Comité Europeo de Investigación sobre la Cocina Solar.*
- *Modelo “Cero-dimensional” desarrollado por Don Antonio Lecuona Neumann, profesor de la Universidad Carlos III de Madrid.*

Gracias a este proyecto y estas normas se podrán cruzar datos de diferentes dispositivos que sean estudiados de igual forma y ver las diferencias de comportamientos a la hora de cocinar entre los diferentes dispositivos solares.

A parte de todo lo explicado anteriormente, este proyecto tiene otro objetivo más global e importante, y que es fomentar el uso de dispositivos limpios y respetuosos con el medio ambiente. Dar a conocer la importancia de dispositivos, como la cocina solar, que permitan el desarrollo de las zonas más desfavorecidas y con menos recursos y que sean considerados como alternativas viables para continuar con su estudio y mejora.

2. INTRODUCCIÓN

2.1. NECESIDAD DE ENERGÍAS ALTERNATIVAS

2.2. ENERGÍA SOLAR

2.1.1. CONSUMO DE LAS FUENTES DE ENERGÍA

Desde que tuviese lugar la Revolución Industrial, el consumo energético se ha ido incrementando año tras año. Es un indicador directo del desarrollo económico e industrial de un país, donde a medida que aumenta la calidad de vida, aumenta el gasto energético en producir mayor cantidad y calidad de bienes y servicios.

El gráfico siguiente (*figura 2.1.*) nos ayuda a hacernos una idea del reparto de consumo energético en la población mundial a principios de la década de los años 90.

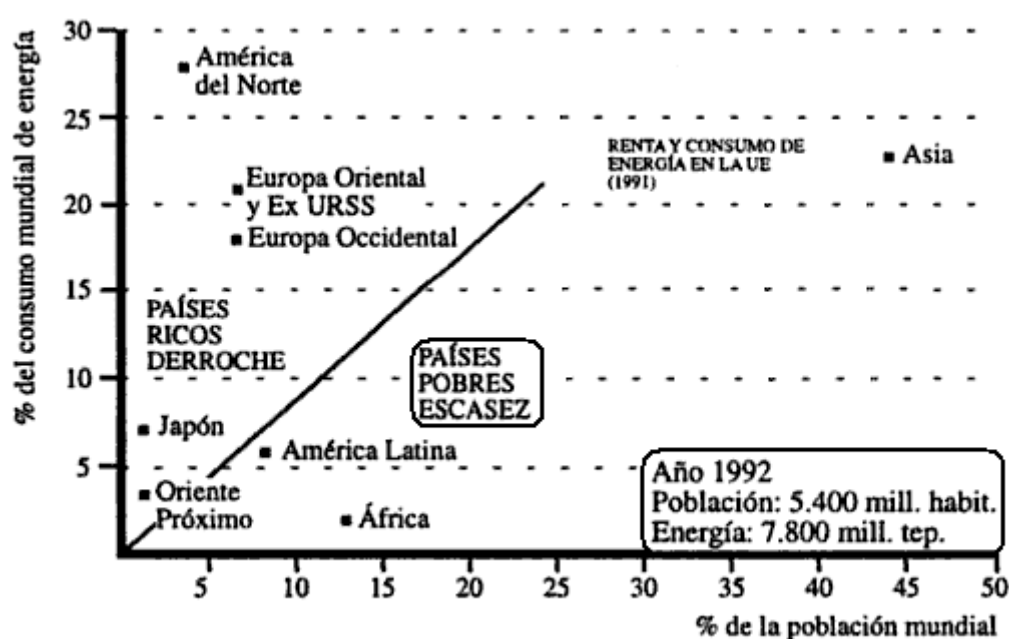


Figura 2.1. Consumo energético Vs Población.

Fuente: "Energías renovables: Un enfoque político y ecológico", E. Menéndez.

Pero por este motivo también han ido apareciendo las mayores diferencias sociales. La energía que se ha utilizado a lo largo del tiempo se ha ido concentrando, en mayor parte, en los países más ricos, y que constituyen un porcentaje bajo de representación social.

El hecho de que los combustibles que participan en la generación de energía se hayan concentrado en los países más poderosos, hace que su uso indiscriminado haga de ellos un recurso insuficiente a largo plazo. Todo esto lleva a la necesidad de poder estudiar vías alternativas, y sobre todo, que sean viables a largo plazo. Es aquí donde surge la idea de las energías renovables.

Aunque las energías renovables sean una realidad para muchos, su consumo sigue siendo más que deficiente. Su rentabilidad a largo plazo está asegurada, pero competir con los combustibles fósiles sigue siendo una tarea ardua. La industria y la vida diaria no están hechas para cambiar lo que funciona, y hoy en día lo que funciona es el petróleo, el carbón y el gas natural. Esto se demuestra con el siguiente gráfico (*figura 2.2.*).

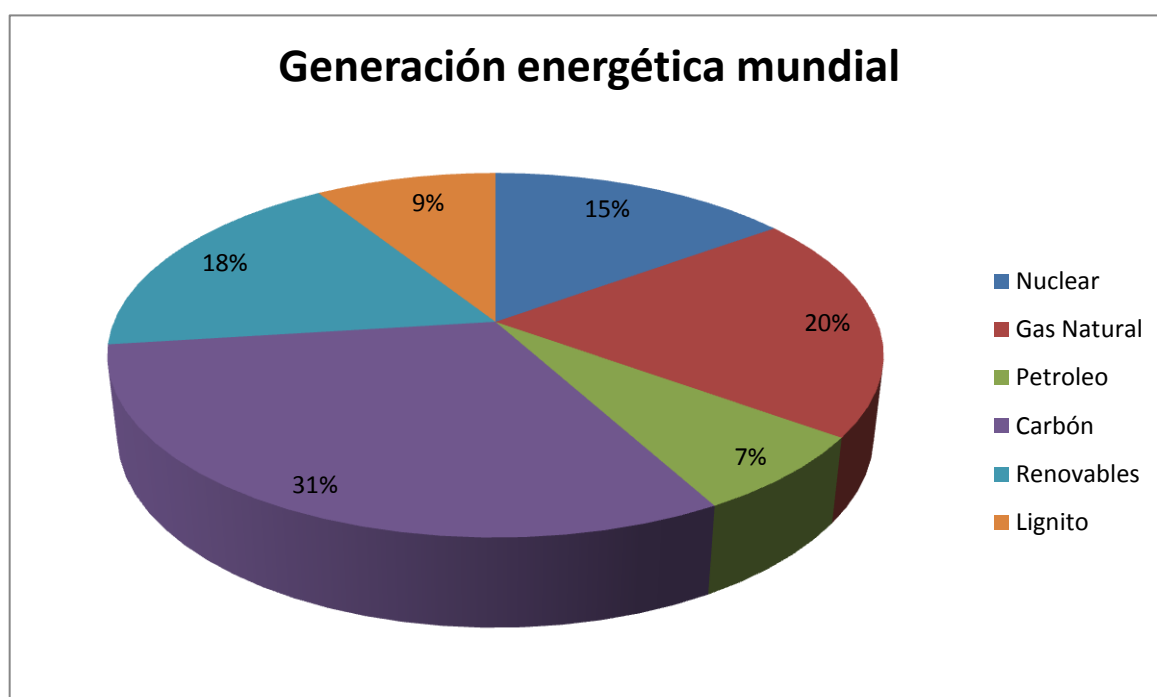


Figura 2.2. Generación energética media mundial.

Fuente: Colectivo de Investigación de Greenpeace.

El 80% de las necesidades energéticas a nivel mundial son sostenidas por los combustibles fósiles. Esto, junto que el aumento progresivo de su uso y explotación, nos hace ver que el agotamiento y la contaminación derivada de estos recursos energéticos convencionales son el principal problema de este modelo

energético.

En nuestro caso, España utiliza este mismo porcentaje de combustibles fósiles para la generación de energía a nivel nacional, lo único que varía es como se reparten los porcentajes de los combustibles.

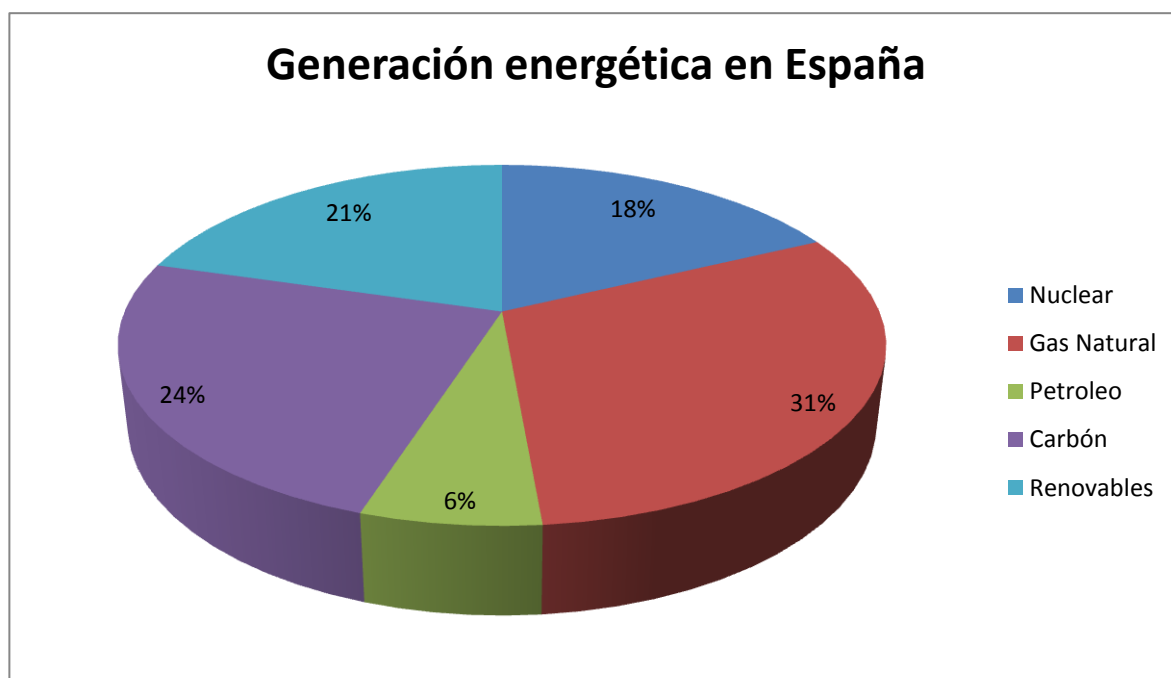


Figura 2.3. Generación energética media nacional.

Fuente: Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. IDAE.

Podemos decir que las previsiones del uso de estos combustibles se reducen a corto plazo. Para mediados de siglo, las reservas de petróleo estarán prácticamente agotadas, y al gas natural y al uranio no le quedarán muchos más años. La única excepción, pero con fecha de caducidad, es el carbón, cuyo uso, al ritmo que lleva hoy en día, se puede extender 250 años más.

Pero el final de estos combustibles fósiles no es lo peor a lo que se tiene que enfrentar la sociedad. El legado que van a dejar tras de si todos estos años de explotación de estos recursos va a ser irreparable para nuestro medio ambiente, para nuestra vida.

2.1.2. PROBLEMAS DERIVADOS DE SU USO

Por encima de todo resultado negativo que puedan darnos los combustibles no renovables está la emisión descontrolada de gases nocivos, como el dióxido de carbono, también conocido como gas de efecto invernadero.

Estos gases alojados en la atmósfera absorben y mantienen el calor reflejado por la superficie terrestre, pero cuando su porcentaje de emisión aumenta tanto como en el último siglo, esto lleva a un recalentamiento que afecta a todas las formas de vida en la tierra debido, el **cambio climático**.

La temperatura de la Tierra debe estar en equilibrio. Este equilibrio es el resultado de la radiación recibida y la energía emitida. A causa del ya nombrado efecto invernadero, este equilibrio no existe. Los gases dejan pasar la mayor parte de la radiación solar, pero son opacos a la radiación emitida por la Tierra.

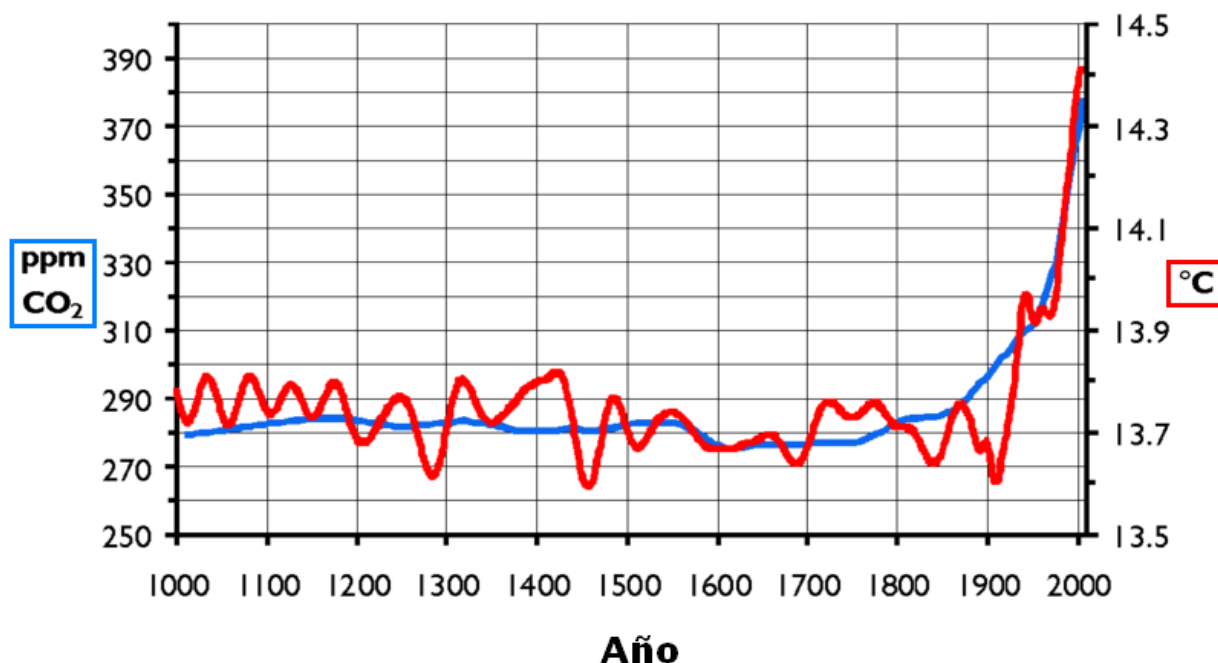


Figura 2.4. Concentración de CO₂ y temperatura media global de los últimos 100 años.

Fuente: Archivo Wikimedia Commons. "wikipedia.org".

Esto se traduce, como vemos en el gráfico de la *figura 2.4.*, en que el aumento de la temperatura media global es directamente proporcional al aumento de la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera.

Estos incrementos de temperatura producen efectos negativos para la vida en la Tierra. La superficie de hielo de los Polos se ha visto reducida de forma dramática en el último siglo y el nivel del mar ha ido aumentando año a año, lo que provocará que importantes ciudades estén en peligro de desaparecer bajo el caudal de agua.

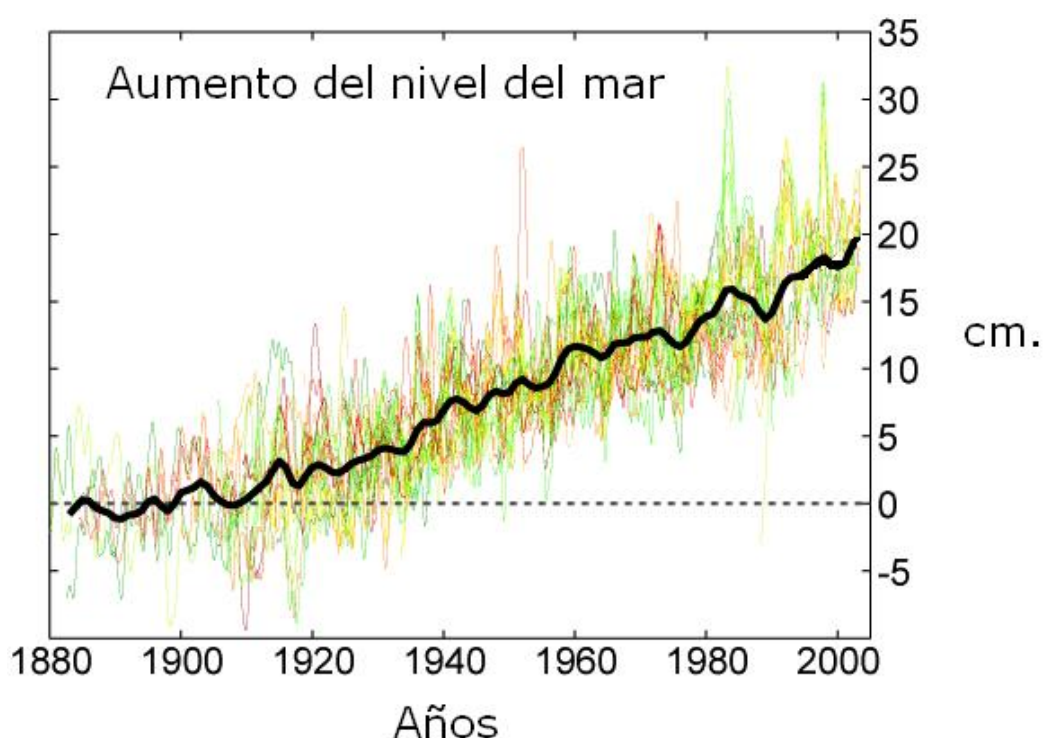


Figura 2.5. Elevación del nivel del mar medido en 23 estaciones fijas.

Fuente: Archivo Wikimedia Commons. "wikipedia.org".

Nuestro clima siempre a sufrido variaciones, cosa que no sería preocupante de no ser por las registradas en el último siglo. Estas variaciones son desproporcionadas comparadas con la progresión lineal que seguían hasta no hace mucho.

Pero no sólo el cambio climático provocado por las emisiones de gases nocivos es el resultado negativo de nuestra actividad. Éste, junto a la **lluvia ácida**, son dos de los más serios problemas medioambientales relacionados con la utilización a gran escala de los combustibles fósiles.

Cuando se lleva a cabo la combustión de cualquiera de estos tipos de combustibles, se produce una emisión importante de elementos tales como el azufre, el nitrógeno o el carbono, los cuales, al contacto con el oxígeno y el vapor de agua, forman ácidos.

Estos ácidos, contenidos en el vapor de agua, caen a la superficie terrestre en forma de lluvia, entrando en contacto con toda clase de seres vivos.

Y junto a todo esto también están los problemas derivados, no sólo del uso del petróleo y del carbón, si no también de la extracción y del transporte de los mismos.

El clima va tomando la importancia que merece en nuestro día a día y nosotros mismos nos sentimos responsables de su cambio, aunque esta responsabilidad no sea suficiente para movilizar a todo el mundo.

Las consecuencias de todo este proceso pueden ser devastadoras para la vida de toda la humanidad; pero aun nos quedan alternativas.

2.1.3. ENERGÍAS RENOVABLES

De entre todas las fuentes de energía que encontramos hasta la fecha, las renovables son aquellas que se producen de forma continua y son inagotables junto al desarrollo de la humanidad. Por ello, y por los problemas derivados del uso de combustibles fósiles que se pueden ver en el apartado anterior, las renovables son la única alternativa viable para llevar a cabo un desarrollo sostenible.

A diferencia de las energías fósiles, las energías verdes (renovables) no producen ningún tipo de contaminante para el medio ambiente, **ni en su obtención ni en su uso.**

Desde otro punto de vista, el de la sociedad, la población necesita tener un acceso a la energía con unas condiciones adecuadas de calidad y de precio. Esto nos asegura el bienestar social. Sin embargo, con las previsiones actuales, las fuentes de energía no duraran mucho a este ritmo, y su valor se irá encareciendo paulatinamente.

De nuevo, las energías renovables constituyen una opción eficiente que garantiza la oferta energética a largo plazo. Su desarrollo y el fomento de su uso nos llevarán también al desarrollo del sector industrial.

Las alternativas energéticas más importantes van a ser consecuencia de la acción directa o indirecta del Sol sobre la Tierra. La **energía solar, eólica, hidráulica, mareomotriz, undimotriz, geotérmica y biomasa.**

- **Energía solar**

La energía solar es una fuente muy importante de producción energética en sus dos componentes, mediante la luz y el calor. Es por ello que en este campo podemos encontrar diferentes tecnologías de captación y generación de electricidad, por medio de motores de calor (térmica) o módulos fotovoltaicos (fotovoltaica).

Las diferencias entre ambos modelos son importantes, ya que poco tienen que ver en su funcionamiento.

La energía solar térmica va a utilizar la reflexión de rayos como principio de funcionamiento básico. Los rayos procedentes de las placas reflectantes instaladas se van a concentrar todos ellos en un mismo punto común, alcanzando temperaturas muy elevadas en ese punto. Gracias a estas temperaturas tan altas, estos dispositivos ponen en funcionamiento los ciclos termodinámicos convencionales, y así permiten la generación de energía eléctrica mediante un alternador.



Figura 2.6. Instalación energía solar térmica.

Fuente: Plataforma Solar Almería.

A diferencia de esto, encontramos la energía solar fotovoltaica, donde la instalación tipo va a presentar paneles fotovoltaicos orientados al Sol. Estos paneles

no utilizan reflexión alguna, sino todo lo contrario. Su color oscuro lo único que pretende es captar y mantener toda la radiación posible procedente del Sol y crear en su interior una diferencia de potencial entre los extremos de la placa. Esta diferencia de potencial la producen la excitación de los diodos que se encuentran en el interior de la misma.

- **Energía eólica**

La energía eólica como tal no deja de ser el resultado de la energía cinética producida por el viento. La simple acción de las corrientes de aire van a ayudar a mover las aspas de los aerogeneradores que son instalados en las zonas con mayor actividad eólica.

La producción de la corriente eléctrica va a venir dada por el generador que se encuentra alojado en el interior y que, por la acción giratoria de las hélices, va a provocar el giro del rotor, normalmente un alternador, que es el encargado de la transformación eléctrica.

A nivel nacional, la importancia de esta energía alternativa es muy grande, y los datos nos demuestran que cada día lo es más. Poco a poco va alcanzando records de producción que la sitúan por encima de la energía nuclear y lo que hace que puntualmente supere el 20% de la demanda energética peninsular (fuente: IDAE). España se encuentra a la vanguardia de la producción energética eólica en Europa junto a Alemania.

- **Energía hidráulica**

Este tipo de energía, la hidráulica o hídrica, hace del agua su medio de producción energética. Igual que la energía eólica aprovecha el movimiento del viento, la hidráulica va a aprovechar la energía cinética y potencial del agua procedente de las corrientes de ríos o saltos de agua (desniveles).

Las construcciones de estas centrales hidroeléctricas hacen que la circulación de agua sobre su propia corriente quede a merced de la presa y se utilice de forma eficiente para la actividad energética. La generación de esta energía se produce por la circulación de la corriente de agua a través de los canales abiertos de la presa, donde en su interior, gracias a la energía cinética del agua, se hace girar una turbina que esta en contacto directo con un generador, cuyo propio giro es el encargado de generar la electricidad útil.



Figura 2.7. Presa hidroeléctrica.

Fuente: "nuevasenergias.wordpress.com".

La producción energética alcanza niveles muy importantes en todo el mundo y nadie duda de su eficacia, pero salta una duda sobre su condición de energía limpia.

Las infraestructuras necesarias para su desarrollo son muy grandes, altas inversiones y grandes presas que traen consigo inundaciones de grandes extensiones de terreno en lo que, en ocasiones, se encuentran localizados pueblos habitados. Y cuando no es así, se construyen en medio de lo que hasta ese momento era naturaleza libre de la influencia de la sociedad.

El impacto de las centrales hidroeléctricas es más que conocido. Su uso condiciona la vida de muchas especies animales que dependen de los cauces de los ríos. Todo el ecosistema de la zona se ve alterado.

- **Energías mareomotriz, undimotriz y geotérmica**

Estas energías van a ser producidas por las mareas, las olas y por el calor procedente del interior de la Tierra respectivamente.

Estos tres tipos no están plenamente desarrollados, ya sea por su bajo rendimiento frente a otros tipos de energías limpias, como es el caso de la mareomotriz o undimotriz, o porque su uso puede conllevar emisión de gases contaminantes tanto para el aire como para el agua, como sucede con la energía geotérmica.

- **Biomasa**

Se denomina biomasa a la materia orgánica procedente de animales y plantas. Esta biomasa va a liberar calor mediante su combustión o, si es tratada químicamente, se puede presentar en forma de biodiesel o biogás.

La emisión de ciertos gases, aunque en pequeños porcentajes, procedentes de la combustión, hacen que su posición de energía renovable (al igual que la geotérmica) sea cuestionada.

Una vez presentadas las diferentes formas de energías renovables que existen en la actualidad, pasamos a conocer su importancia en el panorama actual a nivel nacional.

Las posibilidades que presenta España en el sector de las energías limpias son muy importantes, tanto, que su futuro desarrollo nos puede ayudar a pasar de

un país dependiente y comprador de energía de otros países, a un país, no sólo energéticamente independiente, sino exportador de nuestra propia energía limpia.

Pero estos recursos todavía no se están explotando al máximo, puesto que lo más importante es la necesidad de inversión de capital para desarrollar los proyectos necesarios. Aun así, según el informe “Plan de Energías Renovables en España: 2005-2010” desarrollado por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), nos muestra que en España, las renovables fueron responsables del 20,5 % de la producción eléctrica. Estos datos, referentes al curso 2007, nos dejan la esperanza de ver cómo la generación de electricidad con energías renovables superó a la de origen nuclear.

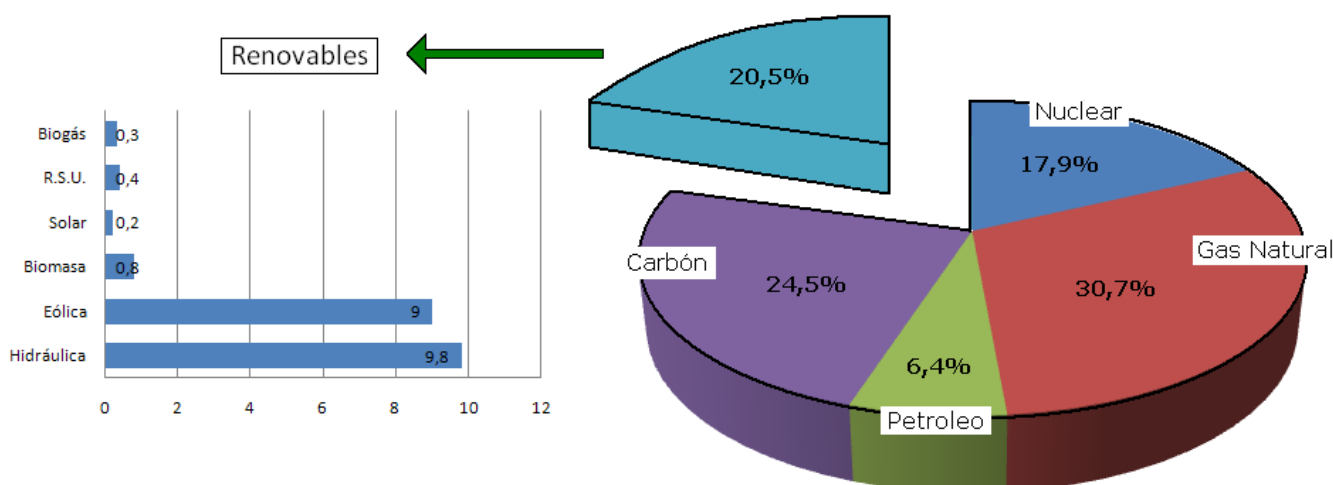


Figura 2.8.

Fuente: Datos del Ministerio de Industria, Turismo y Consumo. IDAE.

Los porcentajes de España en generación de energías limpias van muy unidos al 20 % de media que presenta la Unión Europea, según el propio Balance Energético del mismo año.

2. INTRODUCCIÓN

2.1. NECESIDAD DE ENERGÍAS ALTERNATIVAS

2.2. ENERGÍA SOLAR

2.2.1. EL SOL SOBRE LA TIERRA

2.2.1.1. LUZ SOLAR

Para estudiar el efecto del Sol sobre nuestra superficie terrestre, primero debemos saber cómo interpretar la luz que de él recibimos. La luz solar que pasa a través de la atmósfera hasta llegar a nosotros la vamos a traducir, a efectos prácticos y de cálculo, como la radiación solar.

Ésta radiación solar va a estar incidiendo sobre una superficie desde el mismo momento que sale el Sol hasta que se pone, y su valor va a estar sujeto a las condiciones climatológicas del lugar.

La radiación solar, según nos dice la enciclopedia libre de la energía solar “*solarpedia.es*”, es el “flujo de energía que recibimos del Sol en forma de ondas electromagnéticas de diferentes frecuencias (luz visible, infrarrojo y ultravioleta)”; es en estos tres tipos en los que se divide no sólo la luz solar, sino cualquier tipo de luz.

La luz se va a caracterizar por las longitudes de onda (resultado del cociente entre la constante de velocidad de propagación de la luz en el vacío “ c ” y la frecuencia), donde su valor es inversamente proporcional al de la frecuencia de dicha onda, por lo que las longitudes de onda más grandes van a ser consecuencia de las frecuencias más bajas.

En la escala correspondiente a la relación de ondas anteriormente descritas, situamos a la luz ultravioleta como la onda de mayor frecuencia, y por tanto, de menor longitud de onda, y la luz infrarroja, en el extremo opuesto. Si lo vemos a escala de valores, el espectro de luz visible por el ojo humano va a quedar encerrado por los valores exactos de 380 a 780 nanómetros (lo que equivale a 10^{-7} metros), según se puede ver en la gráfica adjunta (*figura 2.9*).



Figura 2.9. Espectro de las longitudes de onda visibles por el ojo humano.

Fuente: Archivo Wikimedia Commons. "wikipedia.org".

Aunque las ondas ultravioletas (UV) sean invisibles, esto no quiere decir que no influyan en la Tierra, puesto que son indispensables para muchos organismos vivos, pero no así para el ser humano, ya que son altamente perjudiciales. Este efecto se ve contrarrestado gracias a la **atmósfera**.

Cuando la luz del Sol llega a nuestra atmósfera terrestre, ésta contiene cerca de un 10 por ciento de los rayos UV, un 50 por ciento de luz visible y un 40 de luz infrarroja. A parte de estos porcentajes, la distribución energética que recibimos de estas tres bandas va a ser diferente. De toda la energía que recibimos de los rayos solares, el 7 por ciento va a corresponder a los rayos ultravioletas, el 47 a la luz visible y el 46 a los rayos infrarrojos.

Como se ve, la consecuencia directa de la atmósfera es la de absorber parte de la radiación solar que llega hasta la Tierra, sobre todo la más dañina, como la UV (de ahí en pequeño aporte energético en forma de calor que da a la Tierra), pero no es el único efecto que de ella se deriva.

La variación de la radiación solar sobre una superficie cualquiera va a ser consecuencia directa de varios factores como son: las condiciones atmosféricas y ambientales del lugar, su situación geográfica y el movimiento de la Tierra. Respecto a las condiciones ambientales del lugar paso a estudiar el efecto que tiene el mismo sobre los diferentes tipos de rayos que de ello se derivan.

2.2.1.2. TIPOS DE RAYOS

Para conocer los tipos de rayos que inciden sobre la vida en la superficie terrestre tenemos que saber en que categorías están clasificados en función de sus propiedades.

Los primeros rayos que inciden sobre la Tierra, y los cuales no tienen ningún efecto sobre nosotros, son los *rayos absorbidos*. El fenómeno de la *absorción* se va a producir de forma directa sobre la radiación ultravioleta mediante el ozono, y sobre la infrarroja mediante el vapor de agua, el dióxido de carbono o el humo entre otros gases presentes en la atmósfera.

Una vez sabemos cuales son los rayos no incidentes, pasamos a estudiar aquellos que sí afectan a la vida en la Tierra. La primera clasificación que vemos es la que diferencia a los rayos directos y a los indirectos.

La ***radiación directa*** va a ser consecuencia de aquellos rayos del Sol que llegan hasta la Tierra de forma directa, sin verse afectados por fenómenos de reflexión o refracción desde el foco solar hasta la superficie terrestre. Aunque a simple vista el ojo humano no lo pueda diferenciar, no todos los rayos que pasan a través de la capa exterior de la atmósfera llegan a nosotros de forma directa.

El recorrido que siguen hasta llegar a la superficie es largo, y en él se pueden encontrar con numerosos factores ambientales (nubes, humos, lluvia, etc.) que hacen que la dirección que llevaban hasta ese momento se vea modificada. Esto es lo que antes, en la definición de radiación directa, he nombrado como *reflexión y refracción*.

Estos dos fenómenos son los que forman la denominada ***radiación indirecta o difusa***, que va a afectar principalmente a longitudes de onda cortas. Aunque esta radiación, como he explicado antes, hace que los rayos directos tomen direcciones aleatorias diferentes de su dirección natural, la directa, no impide que la mayoría de estos rayos acaben tomando contacto con la superficie terrestre.

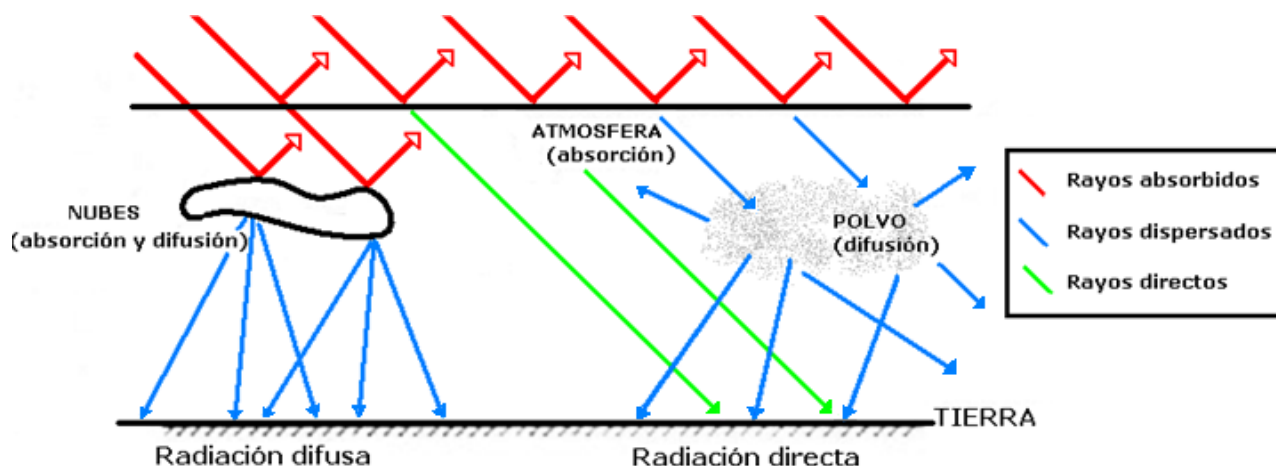


Figura 2.10. Tipos de rayos solares.

Fuente: Tema 4: Radiación solar. Energías renovables.

Departamento de Ingeniería Térmica y de Fluidos. UC3M.

Toda la radiación que llega a la superficie terrestre, ya sea en forma de radiación directa o indirecta, va a ser absorbida por el suelo, el agua o diferentes organismos. Toda esta energía que ha sido absorbida se va a repartir en la que luego es reflejada de nuevo hacia la atmósfera y en la que se reirradia en forma de calor.

Para poder estudiar correctamente la acción de la radiación, la directa y la difusa, se debe hacer de forma conjunta en lo que se denomina *radiación global*. La radiación global va a ser el resultado directo de sumar ambos tipos de radiación.

Para conocer todas estas radiaciones nos tenemos que ayudar de material cualificado. Los aparatos de medida de la radiación solar van a estar agrupados en función del tipo o tipos de radiaciones que sean capaces de medir (directa, difusa o indirecta y global).

2.2.1.3. INSTRUMENTOS DE MEDIDA

Para conocer la radiación solar incidente y utilizarla para el estudio, tenemos que ser capaces de transformar toda esa energía calorífica en datos numéricos. Esto es lo que en la actualidad nos proporcionan los denominados piranómetros (o solarímetros) y los pirheliómetros.

Los primeros, los piranómetros, van a ser el aparato de medida más común en la mayoría de las instalaciones solares y a la hora de realizar cualquier medición a pequeña escala, tal y como es en nuestro caso. Se utiliza ampliamente debido a que es un instrumento muy sencillo de utilizar y que no requiere que sea continuamente reorientado hacia la dirección del Sol.

Probablemente el 90 % o más de los datos solares que se obtienen a diario en todo el mundo se han conseguido utilizando algún determinado tipo de piranómetro [Fuente: “*Aplicaciones de la energía solar*”, A.B. Meinel].

Dentro de la misma familia de los piranómetros podemos encontrar dos clasificaciones diferentes. Estos dos grupos se van a caracterizar por el tipo de radiación que es capaz de captar, si es **global** o **indirecta**. La radiación directa en sí no es posible de obtener por medio de un piranómetro, pero sí que podemos llegar a conocer su valor numérico mediante estimaciones.

Está demostrado que la radiación global es el resultado directo de sumar la radiación directa y la radiación indirecta, tomando como indirecta aquella que llega al objeto tras sufrir alguna desviación en su dirección inicial más la reflejada por el suelo u otros elementos cercanos al punto de interés.

$$I_{global} = I_{directa} + I_{indirecta}$$

$$I_{global} = I_{directa} + [I_{difusa} + I_{reflejada}]$$

Con los aparatos de medida descritos hasta ahora somos totalmente capaces de obtener, en un mismo momento y lugar, la radiación global y la radiación indirecta; así, de esta forma, sólo nos faltaría una variable de las tres que tenemos para resolver la ecuación anterior.

El piranómetro nos va a medir la cantidad total de radiación que llega hasta la superficie terrestre, la **radiación global**, tanto la procedente de los rayos directos como la de los indirectos. Esto es debido únicamente a su diseño característico en forma de media esfera, como podemos ver en las siguientes imágenes (*figura 2.11.* y *figura 2.12.*).



Figura 2.11. Piranómetro con termopila clase 1 (ISO).

Fuente: Archivo Wikimedia Commons. "wikipedia.org".



Figura 2.12. Piranómetro con termopila clase 2 (ISO).

Fuente: Tema 5: Radiación solar. Energías renovables. Departamento de Ingeniería Térmica y de Fluidos. UC3M.

Aparte de conocer los que nos miden la radiación global, tenemos que diferenciar los piranómetros que nos proporcionan la **radiación indirecta**. Estos modelos van a tener un esquema de funcionamiento igual a los anteriormente descritos, pero con un arco característico que va a pasar sobre la media esfera del piranómetro tal y como se muestra en la siguiente imagen (*figura 2.13.*).



Figura 2.13. Piranómetro con banda de sombra.

Fuente: Tema 5: Radiación solar. Energías renovables.

Departamento de Ingeniería Térmica y de Fluidos. UC3M.

El objetivo único de este sistema de piranómetro con arco es proporcionar sombra directamente sobre la media esfera que se encarga de transformar los rayos solares en datos numéricos de radiación. De esta forma, al dar sombra sobre el aparato, la radiación directa no va a influir sobre el mismo, y los únicos datos de salida que nos va a proporcionar nuestro piranómetro van a ser los de la radiación indirecta o difusa.

Como he comentado con anterioridad, gracias a la acción conjunta de estos dos modelos de piranómetros, conoceremos de forma aproximada la **radiación directa** incidente sobre la misma zona de medida.

La instalación que se encarga de llevar a cabo la medición, no sólo de la radiación solar, si no de aquellas variables meteorológicas importantes para cualquier estudio que se quiera desarrollar en la universidad se muestran en la imagen de la *figura 2.14*.

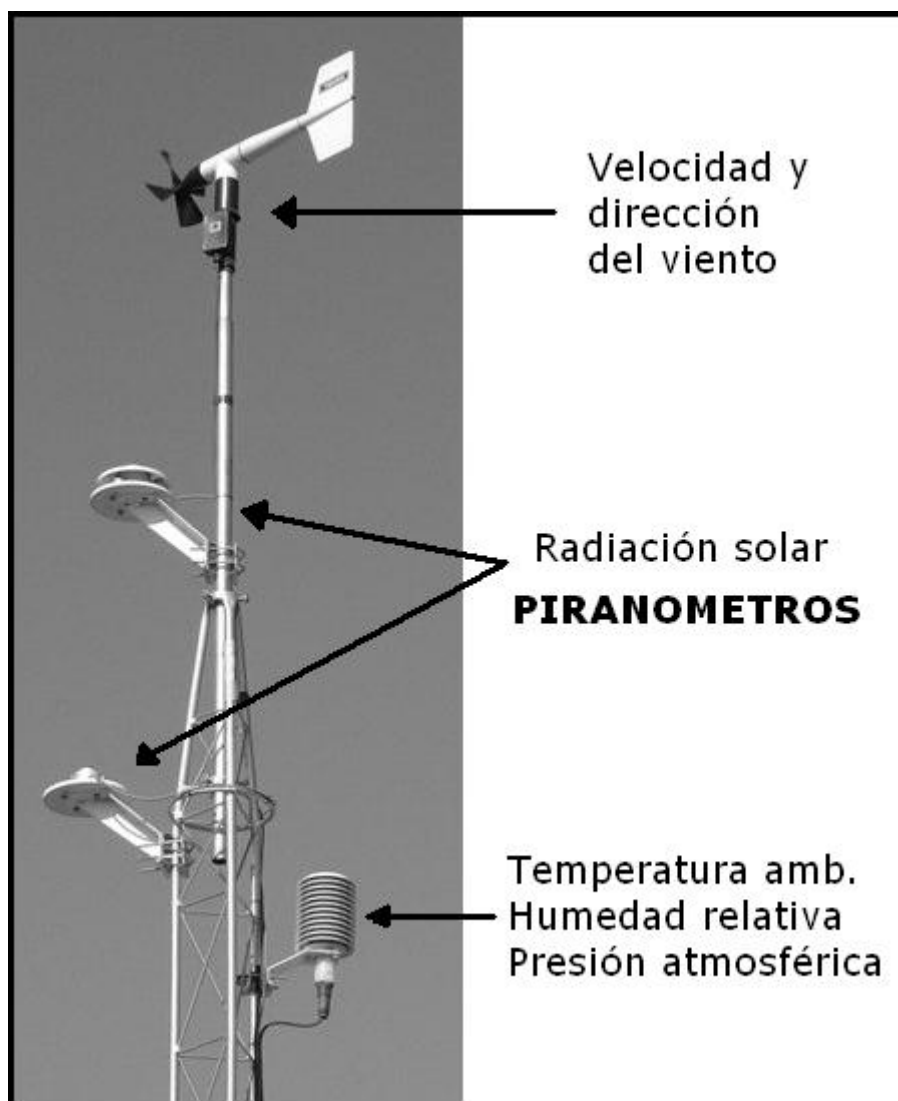


Figura 2.14. Instalación meteorológica de la Universidad Carlos III de Madrid.

Fuente: Tema 5: Radiación solar. Energías renovables.

Departamento de Ingeniería Térmica y de Fluidos. UC3M.

Como podemos ver en la instalación anterior, que ha sido la encargada de facilitar todos los datos necesarios para la realización de este proyecto, existen dos piranómetros de medición de la radiación solar. Esto, lo que nos va a proporcionar va a ser una medida redundante de los datos de la radiación global solar incidente; ya que, a priori, la radiación indirecta no va a ser necesaria para ningún cálculo.

Aparte de los piranómetros, en nuestro estudio van a ser importantes otros factores, como son la temperatura ambiente y la velocidad del viento, ya que son variables que afectan de forma directa a la hora de utilizar la cocina solar.

Sobre todo, el hecho de tener un viento relativamente fuerte nos va a provocar tener radiaciones directas sensiblemente más bajas (la mayor actividad de las partículas de polvo contenidas en el aire, por ejemplo, nos va a provocar una mayor reflexión de rayos directos) y unas mayores pérdidas en nuestros dispositivos, con menos acumulación de calor en cocinas y ollas.

2.2.1.4. ZONAS Y HORAS DE SOL. ESTACIONES

Las condiciones ambientales del lugar no van a ser las únicas variables que determinen la cantidad de radiación incidente sobre una determinada superficie; ya que, al igual que estas condiciones climatológicas, la intensidad de la radiación va a estar sujeta a la zona horaria y a la época del año en cuestión.

Al igual que cambian las horas de Sol, va a cambiar la intensidad de radiación que llega hasta la superficie terrestre. Esta radiación variará de forma directamente proporcional a como varía la sensación de calor en la superficie, todo ello sujeto a cada estación del año en la que nos encontremos.

Mediante la *figura 2.15.* queda representada la altura que alcanza el sol en cada una de las estaciones. Como es normal, a mayor altura, mayor recorrido debe hacer el sol desde que sale hasta que se pone, por lo que más horas de radiación se encuentra expuesta la superficie terrestre.

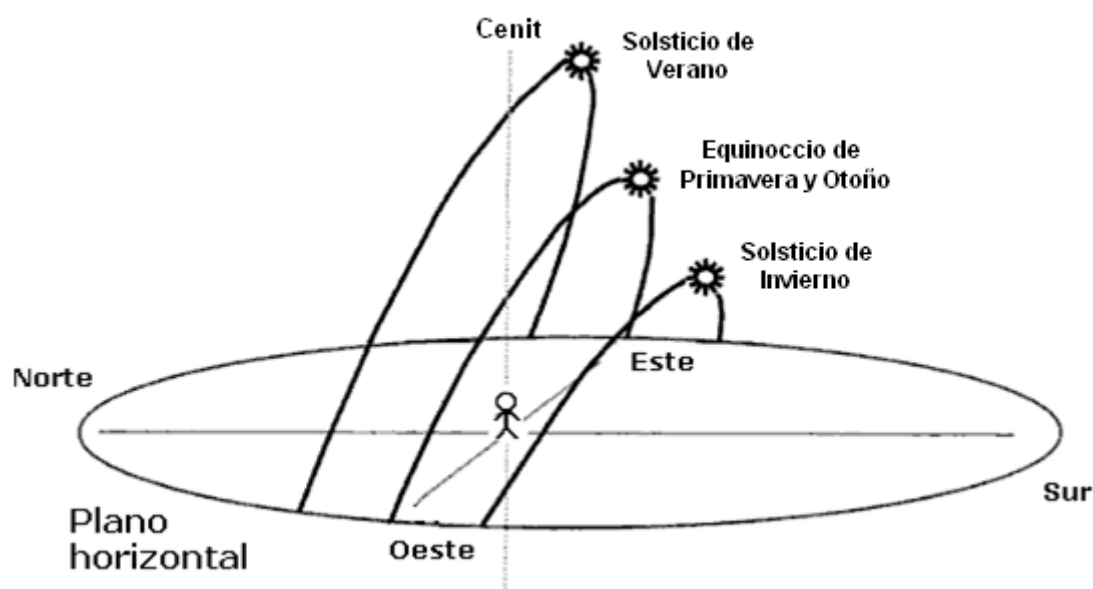


Figura 2.15. Trayectoria solar sobre el plano del observador en función de cada estación.

Fuente: "Tecnología solar", M. Ibáñez, J. R. Rosell, J. I. Rosell.

Esto justifica el número de horas de exposición solar, pero también se debe conocer el porqué la radiación y el calor aumentan de igual forma en verano y se ven reducidos en los meses de invierno. Esto va a quedar mucho más claro si nos fijamos en la siguiente ilustración, *figura 2.16*.

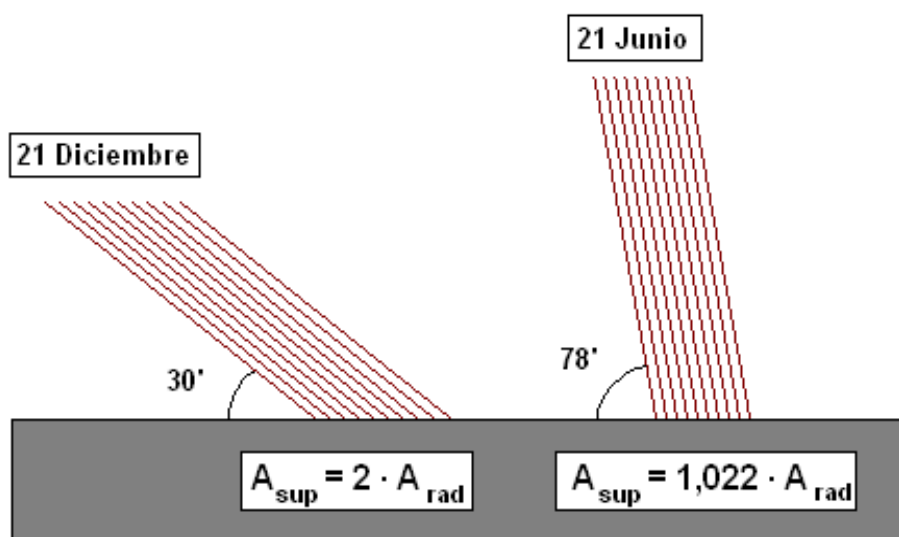


Figura 2.16. Trayectoria radiación solar sobre el plano horizontal.

Fuente: Tema 4: Radiación solar. Energías renovables.

Departamento de Ingeniería Térmica y de Fluidos. UC3M.

La altura del sol va a influir en la forma en que llegan los rayos solares. A mayor altura del sol más se acercan estos rayos a una normal a la superficie y, como se ve en la imagen, por cada metro cuadrado de área de rayos solares, se tiene 1,022 metros cuadrados de superficie irradiada. Al igual pasa cuando el sol se encuentra en su punto más bajo, que serían 2 metros cuadrados de superficie irradiada.

El concepto de calor viene dado también por esta misma razón, ya que al repartirse los rayos sobre una superficie mayor en el caso de los meses de invierno, la energía calorífica se reparte también sobre una superficie mayor y, por tanto, concentra menos calor. Inversamente se comportará en los meses de verano.

Volviendo a la *figura 2.15.*, si nos fijamos en el recorrido que lleva el Sol, uno se puede dar cuenta de que en ningún momento forma una perpendicular al plano horizontal que simula la superficie terrestre. Este hecho tiene su explicación en el movimiento de traslación.

En su movimiento de traslación, el eje de rotación terrestre va a formar un ángulo de $23,45^\circ$ con respecto a la normal del plano de la órbita elíptica, el **ángulo de declinación**.

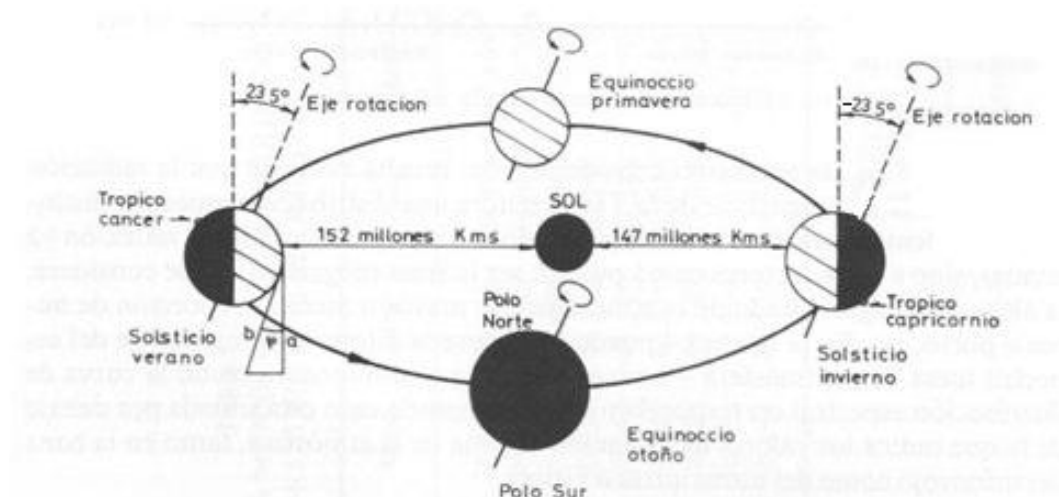


Figura 2.17. Influencia de los movimientos de traslación y rotación sobre el ángulo de declinación.

*Fuente: Tema 4: Radiación solar. Energías renovables.
Departamento de Ingeniería Térmica y de Fluidos. UC3M.*

Como vemos en la *figura 2.17.*, el ángulo de declinación va a variar entre $+23,45^\circ$ el día de Solsticio de Verano (21 de junio) y $-23,45^\circ$ el día de Solsticio de Invierno (21 de diciembre). Estos dos días hacen referencia al día de más horas de radiación solar y al de menos respectivamente.

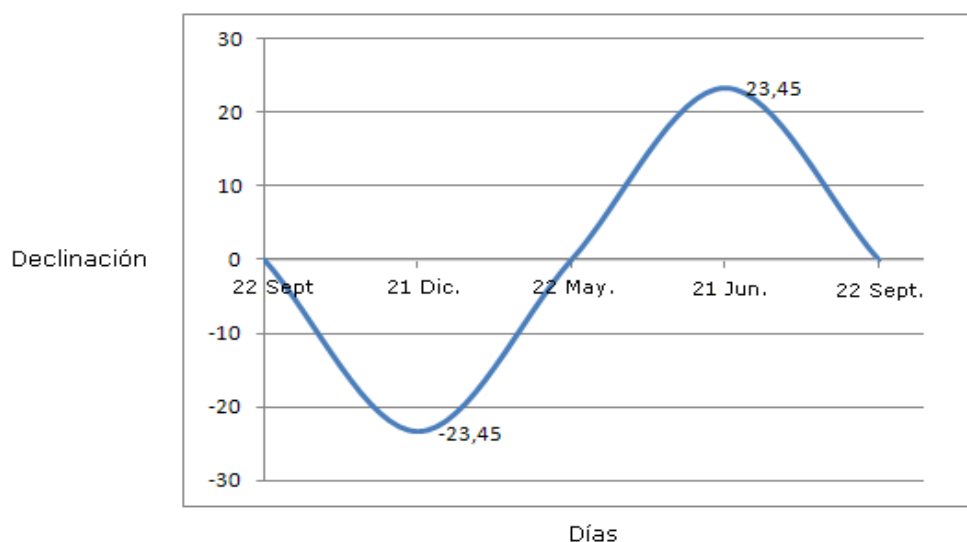


Figura 2.18. Ángulo de declinación en función del día del año.

Fuente propia.

Desde el punto de vista de la hora, la solar va a ser diferente o no de la hora local en función de la zona geográfica en la que os encontremos. El cambio estacional respecto del horario UTC/GMT (Coordinated Universal Time / Greenwich Mean Time) va a tener unos valores fijados múltiplos de 1 hora para todas las zonas de la Tierra.

Así, en nuestro caso, España tiene una diferencia de +1 hora en invierno, mientras que en verano este valor es de +2 horas. Esto quiere decir que, sabiendo que el Sol va a alcanzar su punto más alto cuando llegue a las 12:00 hora solar, esta equivaldrá a las 13:00 hora local en invierno, y a las 14:00 hora local en verano.

Por esta misma razón se han elegido los intervalos de medición de la radiación para el proyecto. Cuando el Sol está más alto es cuando mayor intensidad de radiación desprende a la superficie, coincidiendo su mayor valor con las 14:00 hora local aproximadamente. La hora de comienzo está fijada por la normativa vigente en dos horas antes del punto más alto y termina una hora después de alcanzar este.

2.2.2. LOS RAYOS SOBRE LAS PLACAS REFLECTANTES

Hasta ahora se ha desarrollado el origen y la composición tanto de la luz solar como de sus rayos; tipos, ángulos, zonas de incidencia...pero todavía no se ha hecho referencia al hecho de cómo se comportan dichos rayos cuando, partiendo del medio por el que viajan, se encuentran con otro medio de diferentes características.

Cuando un rayo va por un medio sin oposición ni alteración alguna, su comportamiento va a seguir una dinámica constante, en la que no se percibe ningún fenómeno de dispersión, pero cuando este rayo llega al límite de un segundo medio de propagación, se va a observar alguno de los siguientes fenómenos: **reflexión, absorción, transmisión y refracción.**

La absorción es el fenómeno que transforma la energía radiante incidente en energía calorífica. Este principio se va a dar en todas aquellas superficies que no sean totalmente reflectantes ni transparentes en las cuales su temperatura superficial se va a ir incrementando en función del tiempo de exposición y de la intensidad de radiación recibida (caso de la olla de la cocina de la cocina solar).

Por otra parte, la transmisión va a ser el paso de la radiación a través de un medio sin cambio de frecuencia de las radiaciones que la componen. Estas superficies transmisoras suelen ser cristales, vidrios, algunos líquidos (como el agua) o el aire. En función de la dirección de los rayos de salida encasillaremos la transmisión que produce el medio.

Por último, antes de explicar la reflexión (fenómeno que se desarrolla en profundidad en el siguiente apartado), vamos a estudiar el principio de la refracción. La refracción, en resumidas cuentas, va a ser el cambio de velocidad y de dirección que sufre un rayo de luz al pasar a través de un medio con diferente densidad de por el que viajaba hasta ese momento.

Se podría entrar mucho más en detalle para conocer mejor cualquiera de los fenómenos anteriormente descritos, pero en nuestro caso, el único principio que nos va a ocupar en profundidad nuestro estudio va a ser la **reflexión.**

2.2.2.1. LEY DE LA REFLEXIÓN

El fenómeno de la reflexión tiene lugar cuando las ondas que viajan por un medio inicial inciden sobre una superficie dada, viéndose impulsadas de nuevo hacia el exterior al entrar en contacto con el segundo medio. Estas ondas no van a transmitirse a través de la segunda superficie, sino que van a continuar viajando por el primer medio.

La dirección de propagación de las ondas va a depender de las características de la superficie incidente. La característica que va a definir la reflexión de una onda va a ser el ángulo con el que se ve reflejada, el cual dependerá no sólo de la naturaleza de dicha onda, sino de las propiedades de reflexión de dicha superficie (color, forma, acabado o factor de reflexión).

Por regla general, la dirección que va a seguir una onda va a venir dada según el esquema de la *figura 2.18*.

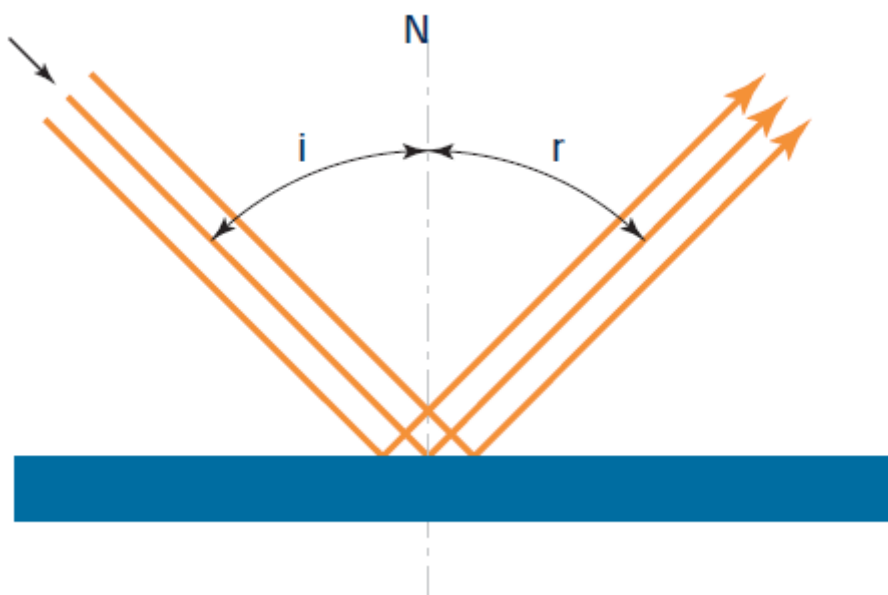


Figura 2.18. Reflexión especular.

Fuente: "Propiedades ópticas de la materia". Luminotecnia 2002.

Toda superficie que presenta un color negro o muy oscuro no refleja las ondas que inciden sobre ella y tiende a absorber toda la radiación. Cualquier superficie que no sea completamente negra podrá reflejar una onda incidente sobre ella, pero será el factor de reflectividad de esta superficie la que reparta el porcentaje de radiación incidente entre reflejada o absorbida.

Los materiales con lo que trabaja la cocina solar van a estar caracterizados por su más que alto valor de reflexión, puesto que de ello depende en su totalidad la eficiencia de nuestro dispositivo (salvo la olla, puesto que esta será de color negro para absorber la radiación y mantener el calor). En los siguientes apartados se pueden observar un listado de los materiales que nos vamos a poder encontrar para llevar a cabo una correcta reflexión de ondas.

2.2.2.2. MATERIALES REFLECTANTES

Dentro de los materiales considerados como buenos reflectantes, tenemos que tener en cuenta la uniformidad de su superficie, ya que de nada nos valdrá que las ondas incidentes sean reflejadas en su mayoría si no podemos predecir que dirección van a tomar. Teniendo en cuenta estos dos valores, se van a desarrollar algunas de las posibilidades que se pueden presentar a la hora de construir o utilizar un dispositivo de cocción solar.

La primera y más común dentro de las posibilidades que podemos encontrar es el famoso **papel de aluminio** o *papel de plata*. Esta opción va a ser sin duda la más económica y sencilla de utilizar, ya que su uso estandarizado hace de él un material de fácil obtención y manejabilidad y, sobre todo, aporta una alta reflexión de las ondas incidentes (más del 90% de la radiación visible se ve reflectada). Todo esto, junto a su capacidad de soportar temperaturas muy altas, hace que sea un material idóneo.

A pesar de esto, otros factores juegan en su contra, como su fragilidad o la facilidad con la que se pueden crear arrugas en su superficie y no tener la uniformidad deseada.

Algo mucho más resistente, pero a la vez más caro y difícil de manejar, será el **aluminio**. Este metal es tratado y recubierto comúnmente con un lacado especial que ayuda a su conservación pero que le hace menos reflectante, por lo que, en este acabado, no saldría rentable su inversión. Para conseguir que cualquier aluminio sea adecuado como reflector solar necesita de un tratamiento químico que le dé el denominado efecto “espejo” (90-95% de reflexión).

Los factores de reflexión vistos hasta el momento son más que aceptables, pero las opciones de fabricación siguen sin ser las más idóneas. Ya sea por fragilidad o coste, la cocina parabólica óptima no va a estar fabricada en estos materiales, por lo que hay que ver la mejor alternativa a los problemas que presentaban cada uno de los anteriores materiales.



Figura 2.19. Cinta de papel de aluminio adhesiva.

Laboratorio del departamento de Ingeniería Térmica y de Fluidos. UC3M.

Lo más utilizado hasta el momento por bajo precio y alta reflexión va a ser la **cinta adhesiva de aluminio**. Estos rollos, semejantes al papel de aluminio descrito anteriormente, nos permiten forrar cualquier superficie evitando las arrugas gracias a su parte adhesiva, y además se obtiene el alto factor de reflexión y resistencia propias del aluminio.

Si uno se fija en detalle en la siguiente imagen (*figura 2.20.*) de la cocina parabólica con la que se ha realizado este proyecto, podemos ver que su superficie ha sido forrada con este tipo de material. Experimentalmente queda más que demostrado la validez de dicho material como material reflectante para la mayoría de los dispositivos de cocina solar.



Figura 2.20. Detalle de la cocina parabólica

Laboratorio del departamento de Ingeniería Térmica y de Fluidos. UC3M

2.2.2.3. FACTORES DE REFLEXIÓN

A continuación se muestra una tabla comparativa de los valores de reflexión que pueden presentar los diferentes materiales en función de su composición o color característico. Se puede observar cómo ninguno de ellos va a llegar al 100%, puesto que por muy pequeño que sea, siempre va a haber un cierto valor que sea absorbido por la propia superficie y transformada en calor.

| Superficie reflectora | % factor de reflexión |
|------------------------------|------------------------------|
| Plata brillante | 92 - 97 |
| Oro | 60 - 92 |
| Plata blanca (mate) | 85 - 92 |
| Níquel pulido | 60 - 65 |
| Cromo pulido | 60 - 65 |
| Aluminio pulido | 67 - 72 |
| Aluminio electrobrillantado | 86 - 90 |
| Aluminio vaporizado | 90 - 95 |
| Cobre | 35 - 80 |
| Hierro | 50 - 55 |
| Porcelana esmaltada | 60 - 80 |
| Espejos | 80 - 85 |
| Pintura blanca mate | 70 - 80 |
| Amarillo y crema claro | 60 - 75 |
| Techos acústicos | 60 - 75 |
| Verde muy claro | 70 - 80 |
| Verde claro y rosa | 45 - 65 |
| Azul claro | 45 - 55 |
| Gris claro | 40 - 50 |
| Rojo claro | 30 - 50 |
| Marrón claro | 30 - 40 |
| Marrón, verde y azul oscuros | 5 - 20 |
| Negro | 3 - 4 |

3. COCINAS SOLARES

3.1. DESARROLLO Y EVOLUCIÓN

Historia de la Cocina Solar.

No es fácil saber cuando se empezó a tener en cuenta el Sol como medio de cocción de alimentos, o simplemente, cuando se empezó a conocer sus propiedades caloríficas, puesto que la documentación existente es escasa y poco detallada como para tener una visión exacta de su historia.

Aun así, aunque su difusión parezca reciente y su popularidad vaya muy lentamente en aumento, la historia de la cocina solar empezó a ser escrita en el siglo XVIII por el físico suizo-francés Horace de Saussure.

Los científicos del momento estaban haciendo un gran trabajo en la conversión de la luz solar para calentar, pero eran en su mayoría mediante el uso de espejos para concentrar la luz en un punto único de combustión (concentración). Saussure se centró en la capacidad que tenía el vidrio de atrapar el calor (acumulación). Fue en el año 1767 cuando publicó un estudio basado en unas lentes que fueron fabricadas un siglo atrás y usadas para calentar agua a altas temperaturas.

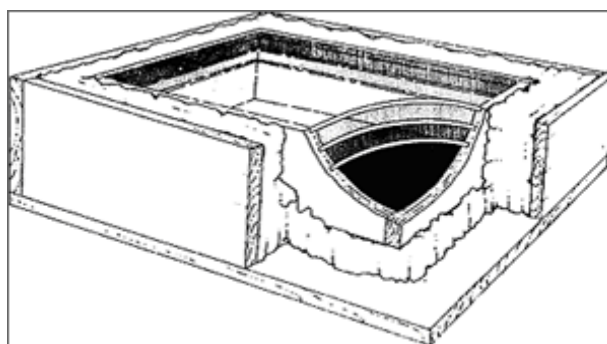


Figura 3.1. Primer horno solar. Ilustración de Kevin Porter.

Fuente: "Solar Cookers International".

Como podemos ver en la ilustración de la *figura 3.1.*, la cocina de Saussure

consistía en un horno solar con paredes de madera y aislante en su capa intermedia. En su superficie se disponían tres cristales paralelos que actuaban de efecto invernadero para el interior de la caja donde se ponían los alimentos en cuestión, y su base estaba recubierta de una capa de color negro.

Aunque hoy lo podemos ver como algo poco eficiente, ya por entonces tenían en cuenta el efecto de los cristales para calentar más rápidamente el aire encerrado en el interior, el concepto de las pérdidas a través de las paredes y la importancia del color negro para absorber más radiación en el interior de la caja. Se sabe que después de varias horas expuesto a la luz del Sol, la temperatura interior de la caja llegó a alcanzar los 88 °C.

Aunque las propiedades caloríficas del Sol se conocían y utilizaban con bastante anterioridad al estudio de Saussure, estas lentes las consideramos como el punto de partida del estudio del Sol como importante fuente de calor para cocinar cualquier tipo de alimento.

En el siglo XX se empiezan a ver pequeños movimientos en torno a la cocina solar. Los científicos hindúes, a petición de su gobierno, diseñan y fabrican hornos solares comerciales y reflectores solares que ayudaban a la cocción de alimentos, pero ninguno de estos fueron fácilmente aceptados, principalmente porque las alternativas energéticas, aunque no renovables, eran de mucho menor costo. Pero no sólo pasaría en la India. La tendencia natural hacia estos elementos de energías limpias era el rechazo, o como mínimo, el escepticismo, ya que no se entendía que en una época de abundancia de combustibles se buscaran alternativas más caras.

Aún así, algunas personas, atraídas meramente por la curiosidad, construyen y utilizan sus propias cocinas solares con fines experimentales. La documentación de estos pequeños movimientos ayudó a que la evolución siguiera a pasos cada vez mayores.

En la década de los años 50, la Administración de Alimentos de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), se encargó de medir la capacidad

de las primeras cocinas parabólicas que habían desarrollado en la India junto a algunos prototipos de hornos que se habían diseñado hasta la fecha.

No es hasta pasado mediado de siglo cuando una defensora del movimiento del uso del Sol como combustible para cocinar, Bárbara Kerr (Arizona, EE.UU.), diseña el primer prototipo válido y eficiente de la actual cocina solar de caja. Más adelante, junto a Sherry Cole, seguiría desarrollando este modelo hasta obtener lo que hoy se sigue conociendo como cocina solar de caja o *Kerr-Cole*.

El trabajo de estas dos mujeres inspiró la formación de “Solar Cookers International” (11 de julio de 1987), cuyo objetivo era vincular a los promotores de la cocina solar en un mismo organismo social, con miras únicamente educativas y formativas.



Figura 3.2. Bárbara Kerr y Sherry Cole junto a su cocina solar de caja

Fuente: “solarcooking.org”

Unos años más tarde, la organización, de nuevo con la asistencia técnica de Bárbara Kerr, fue pionera en la introducción de un tipo de dispositivo de cocción, la “*cocina de panel*”, un híbrido entre la caja y la parabólica. Este invento fue un gran avance, ya que era menos costoso y por lo tanto capaz de servir a las necesidades de personas en países con menos recursos.

Se puede decir que es en estos últimos 20 años cuando la cocina solar se

empieza a ver como un medio real y válido para cocinar alimentos. Esto ocurre también por la necesidad de buscar alternativas a la cada vez mayor escasez de combustibles fósiles. La evolución y el perfeccionamiento de los diferentes tipos de cocinas existentes, gracias a la implicación y la constancia de personas como Bárbara Kerr, hace que la documentación que tenemos sea más completa y, por lo tanto, su difusión y conocimiento sea más sencillo.

Algunos de los hechos que marcaron el empuje que se dio a la cocina solar a finales del siglo XX fueron:

1970 - Se empieza a dar cada vez mayor importancia a las energías renovables. La paulatina escasez de petróleo en todo el mundo y la más que importante deforestación provocó la promoción de la cocina solar por parte de los gobiernos de China y la India.

1973 - Bárbara Kerr empieza a ver las cocinas solares como un medio de ayuda a personas sin recursos económicos, sin hogar. Fomenta la utilización de materiales más sencillos a bajo costo, cocinas solares con materiales reciclados y papel de aluminio.

1979 - La Organización de Unidad Africana ve en los hornos solares de caja una forma segura y cómoda de llevar a cabo la necesaria pasteurización del agua y así evitar numerosas enfermedades derivadas de su consumo.

1986 - La Administración de Alimentos de las Naciones Unidas para la Agricultura estima que la cuarta parte de la humanidad sufre la escasez de leña destinada a cocinar sus alimentos y predijo que para el año 2000 la escasez afectará a la mitad del total. Se empieza a ver la necesidad de mostrar a las mujeres de los países subdesarrollados (las principales afectadas por la escasez de este combustible) la posibilidad de cocinar con ayuda del Sol.

Aunque el empuje al desarrollo y la utilización de la cocina solar no terminan a finales de la década de los 80, si es a partir de esta última fecha y por esta última razón que el empleo y la importancia se ha multiplicado en todo el mundo.

3.2. IMPACTO SOCIAL

El alarmante ritmo al que sigue la explotación masiva de recursos naturales hace que, a día de hoy, el mayor problema al que se enfrenta los países en desarrollo sea en avanzado deterioro y escasez de medios energéticos y la falta de alternativas renovables.

Ante toda esta situación límite, la opinión generalizada de utilizar energías alternativas renovables nos lleva a mirar al Sol, unos de los focos energéticos más potentes y menos aprovechado. En muchos países en desarrollo existen programas energéticos, los cuales van impulsando al propio país, pero que van abandonando y limitando a las zonas más rurales del Tercer Mundo, donde implantar estas tecnologías se hace imposible.

Así, en vez de hacer frente a la alta tecnología de la energía fotovoltaica, que requiere un capital inicial amplio raramente disponible para estas personas y ni siquiera para sus propios gobiernos, hay una serie de formas simples para aprovechar las tecnologías solares con mucho menor gasto para los aldeanos locales, y con resultados muy efectivos.

Estos proyectos que se van desarrollando son una herramienta para ayudar en la introducción de dispositivos de energía solar a las pequeñas zonas rurales, mayoritariamente, las de África. Estos dispositivos son los que se pueden hacer con materiales locales a costa de poco o ningún gasto, que la gente pueda entender de forma fácil, y que beneficie enormemente a la población local en estas regiones. El valor de las energías alternativas como estas debe ser reconocido y aceptado, especialmente por los aldeanos locales, ya que serán los principales participantes del proyecto. Sin esta implicación y esfuerzo, los cambios necesarios para incorporar estas nuevas ideas en la vida tradicional de los pueblos nunca se alcanzarán.

La energía procedente del Sol predomina en todo el mundo, es inagotable, y no hace falta almacenarla ni transportarla, es por ello que es la mejor alternativa

para países donde los índices de radiación solar son muy altos en la mayor parte del año, y donde se carezca de capital para realizar grandes inversiones en tecnologías energéticas. Es en estos países donde se busca implantar estas formas energéticas para, como mínimo, mejorar su calidad de vida.

Como podemos ver en la imagen siguiente (*figura 3.3.*), esta alternativa es idónea para África. Tiene el mayor índice de radiación solar media anual, pero la pobreza general les impide aprovechar la gran cantidad de Sol de otra forma que no fuera con dispositivos seguros y baratos como los que estamos estudiando, las cocinas solares.

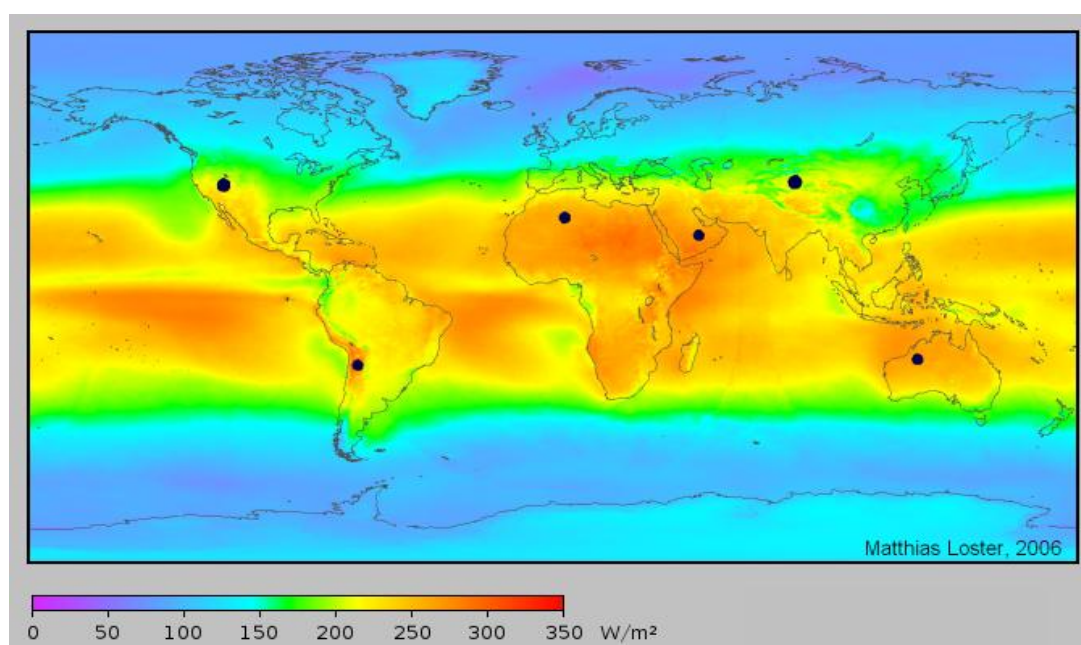


Figura 3.3. Radiación solar promedio mundial.

Fuente: "Matthias Loster, 2006".

Sin ir más lejos, la tasa de deforestación en este país empieza a ser extrema y las afecciones respiratorias causadas por cocinar con leña cada vez muestran mayor tasa de mortalidad. Es por ello que cambiar el uso de la madera como combustible se hace imprescindible para mejorar la calidad de vida de los principales afectados.

Junto a la escasez de madera esta la falta de abastecimiento de agua potable para millones de personas y que es causa de una gran parte de las muertes por enfermedades infecciosas que son fácilmente subsanables con la pasteurización del agua.

Aquí es donde empiezan a entrar los dispositivos solares que se han ido desarrollando. Tanto los hornos solares como los destiladores solares son formas de bajo costo capaces de proporcionar agua limpia y sana, libre de parásitos, ya que la pasteurización del agua se puede lograr a partir de 65 °C y la de los alimentos en general en torno a los 80 – 85 °C. Todo esto mejora la salud de todos aquellos que utilizan estos dispositivos, pero no sólo la salud se ve mejorada, sino la calidad de vida, con especial mención a las mujeres.

Las mujeres son la principal preocupación del estudio de las energías alternativas, ya que son las que se encargan de buscar la leña, y ante la deforestación anteriormente descrita, se ven obligadas a realizar viajes cada vez más largos con mayores pesos a sus espaldas. Al recorrer mayores distancias, corren mayores riesgos de sufrir accidentes por cargar estas cantidades de leña o ser atacadas por cualquier tipo de animal. Se puede decir que cada vez que una mujer abandona el campamento se esta jugando la vida.

Una estimación de lo que puede suponer la introducción de las cocinas en un campamento se resume a que los viajes para recoger leña se pueden reducir en un 86%, con lo que todo ello conlleva.

A parte de buscar y transportar toda la leña, incluso cargando con sus hijos (*figura 3.4.*), la mujer es la que se encarga de cocinar, la que se ve afectada por todos los humos que inhala al ser quemada la leña. La inhalación de estas micropartículas causa, a largo plazo, problemas cardíacos y pulmonares, a parte de ser perjudicial para el medio ambiente.



Figura 3.4. Mujeres cargando leña para cocinar.

Fuente: "solarcooking.org".

Centenares de aldeas en casi todo el mundo participan en estos proyectos de introducción de cocinas solares. Se suelen enviar grupos de unos tres componentes para que sean los encargados de entrenar a la sociedad en el manejo de los dispositivos. Se seleccionan personas de la aldea que sean luego las encargadas de demostrar en uso de las cocinas, fomentarlo y responder a toda clase de preguntas derivadas de su uso.

Con la introducción de las cocinas solares en estos poblados, no sólo se les enseña a las mujeres a cocinar de manera más segura, sino que se les enseña también a fabricar estos dispositivos solares para que se sigan desarrollando una vez implantados.

Con este conocimiento extra que se les aporta, se asegura que las cocinas sigan vigentes más tiempo, que pasen de unas generaciones a otras, que los conocimientos pasen entre mujeres de diferentes familias, e incluso, que las familias también tengan la oportunidad de crecer, desarrollarse y generar más ingresos gracias a su fabricación. Con esto, pueden obtener otros productos a cambio de la fabricación de estas cocinas. Se abre un nuevo mercado sostenible en pueblos necesitados de estas tecnologías baratas y seguras.

Tan importante ha sido la implantación progresiva de estos dispositivos solares para las mujeres en estos países subdesarrollados que, aparte de aprender a utilizarlos y mantenerlos, han aprendido a mejorarlos y hacer diseños más óptimos para forma de vida. Así, podemos ver como los hornos solares convencionales han pasado a tener formas más cómodas y seguras para su mantenimiento, como vemos en los ejemplos de la *figura 3.5*.



Figura 3.5. Cocina-cesto desarrollada por mujeres de Eritrea (África) –izquierda- y Nepal (Asia) -derecha-.

Fuente: “solarcooking.org”.

Las mujeres continúan formándose entre ellas en la óptima utilización de estos dispositivos solares. Saben que las cocinas tienen que estar en zonas soleadas y protegidas de la acción del viento. También saben que los alimentos elaborados requieren más tiempo en estar totalmente listos para su consumo en comparación a un fuego de leña.

Pero esto último tampoco ha supuesto un problema para las mujeres, ya que aunque el hecho de cocinar sea más lento, se aseguran de poder gastar el tiempo en otras cosas que no sean ir a buscar leña o agua limpia.



Figura 3.6. Mujeres aprendiendo y compartiendo el uso de la cocina solar.

Fuente: “solarcooking.org”.

En definitiva, con las alternativas estudiadas, la mujer va a ser la responsable de la mayoría de las tareas involucradas en el tratamiento y uso de tales dispositivos; y es el principal factor, por no decir único, beneficiado de la implantación de la energía solar en el Tercer Mundo.

Los beneficios que he comentado anteriormente, tanto para la salud como los beneficios ambientales, han hecho de las cocinas unas alternativas atractivas y reales en áreas desfavorecidas del mundo. Los proyectos humanitarios han introducido las cocinas solares en Darfur, Malí, Kenia y Tanzania en África y la India, Vietnam y Nepal en Asia.

De acuerdo con “Solar Cookers International”, más de \$ 1.6 millones han sido recaudados para la compra de cocinas solares en todo el mundo, lo que se ha traducido en más de un millón de cocinas distribuidas hasta la fecha.

Esto nos enseña que en ocasiones, la baja tecnología también puede causar grandes impactos en el devenir de la sociedad.

Aunque hasta ahora todo lo comentado sean beneficios, existen problemas que hacen que la cocina solar no pueda ser la única alternativa a la hora de cocinar. El más común y visible es la dependencia solar, ya que en lugares como la India, aunque se utilicen a diario los dispositivos solares, el Sol no es siempre tan brillante como se necesita, ya sea por los días nublados o por la estación en las que nos encontremos.

La necesidad de la leña como combustible es menor, pero a día de hoy sigue siendo totalmente necesaria, y ante la búsqueda de otras alternativas, sigue siendo la única posibilidad de algunos países.

3.3. CÓMO FUNCIONAN

Todas las cocinas solares, como su propio nombre indica, tienen un denominador común, y que es el uso de la radiación solar para ayudar a los alimentos a alcanzar altas temperaturas de cocción.

Dentro de la familia de las cocinas solares, la clasificación que se utiliza divide a estos dispositivos en tres grandes grupos y que son los tres principales modelos de cocina que están actualmente más desarrollados y en mayor uso. Estos modelos, que voy a desarrollar en profundidad en apartados posteriores, son la cocina CookIt, el horno solar y la cocina parabólica.

A su vez, estos tres grupos se ven diferenciados por otros factores que no son ni su diseño ni los materiales utilizados en su construcción, y que es la forma que tienen de captar y transformar la radiación procedente del sol en energía suficiente para el calentamiento y la cocción de alimentos.

Esta forma de captar los rayos solares va a diferenciar al horno de la cocina parabólica. Así, la primera va a utilizar el principio de acumulación de la radiación, mientras la parabólica hace de la concentración de rayos su principio de funcionamiento.

¿Y donde queda la CookIt? Pues esta cocina la encuadramos dentro de los dos grupos, ya que va a utilizar ambos principios para poder funcionar.

Estos dos principios son los que van a fijar el diseño final de cada una de las cocinas y sus parámetros finales. Las características generales y de funcionamiento de cada uno de los dos grupos van a ser analizados en los dos siguientes apartados.

3.3.1. ACUMULACIÓN

La acumulación dentro de un horno solar también va a ser conocida como “efecto invernadero”, y es que al igual que ocurre con la superficie terrestre, la entrada de los rayos solares en la cavidad del horno a través del cristal y la acumulación (de ahí su nombre) de los mismos va a provocar que la temperatura en su interior vaya en aumento.

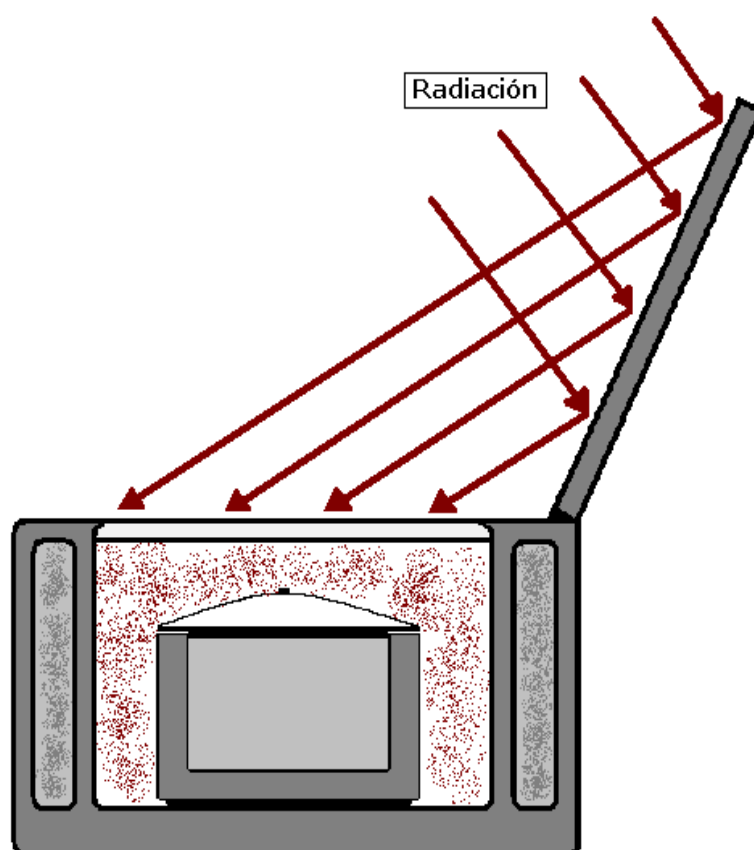


Figura 3.7. Esquema de un horno solar en el que los rayos se dirigen al interior por reflexión y el aire caliente queda acumulado en el mismo.

Fuente propia.

La luz pasa fácilmente a través del cristal (como se ve en la *figura 3.7.*) e incide sobre los materiales que se encuentran en su interior, en nuestro caso, la olla y las paredes. Por este motivo, por la directa incidencia de los rayos sobre estas superficies, las mismas van a presentar siempre un color negro, ya que como

generalmente se sabe y está demostrado, el color negro es un absorbente, y este tono va a ayudar a captar y mantener mayor radiación.

El aumento de temperatura hace que toda esta energía absorbida por los metales del interior pase a ser energía calorífica, la cual va a presentar mayor longitud de onda. Esta transformación de sus características hace que la onda que entra sea distinta a la onda que es emitida al exterior, y al tener distinta longitud de onda, ésta ya no puede atravesar directamente el cristal por el que entró, por lo que se acumula en el interior del horno (de igual forma que pasa en nuestro planeta con la emisión de gases de efecto invernadero y el impedimento de la Capa de Ozono a dejarles pasar).

3.3.2. CONCENTRACIÓN

Otro principio de funcionamiento de las cocinas solares va a ser lo que se conoce como concentración de ondas.

Todas las ondas procedentes del Sol llevan, de forma natural (si no se ven alteradas por factores externos), una misma dirección de propagación. Es al incidir sobre objetos o superficies cuando la dirección de estos rayos se ve alterada y reflejada en diferentes direcciones a la natural.

Si utilizamos una superficie curvada como la que se puede ver en la figura que a continuación se muestra, conocida como parabólica, y forramos su interior de material reflectante, podemos predecir cuál va a ser la dirección de propagación de las ondas que incidan sobre la superficie anteriormente descrita.

El ángulo que describen las ondas reflejadas va a variar en función de la zona de incidencia sobre la superficie cóncava, es por ello que va a haber un punto común, como se muestra en la *figura 3.8.*, donde coincidan todas ellas, y ese punto va a ser denominado **foco**.

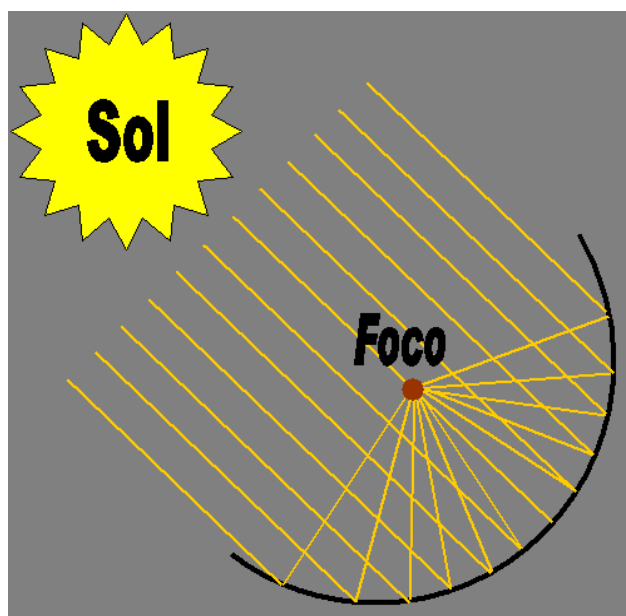


Figura 3.8. Concentrador de ondas solares.

Fuente: "wikipedia.org".

La alta concentración de todas las ondas en un mismo punto en común hace que las temperaturas que se llegan a alcanzar en el mismo sean muy altas.

Este tipo de dispositivos dependen directamente de las direcciones que tengan las ondas solares, es por ello que necesita una alta vigilancia para tener en todo momento la superficie curva orientada de forma correcta al sol.

3.3.3. TABLA COMPARATIVA (RESUMEN)

| Características | Acumulación | Concentración |
|------------------------------|--------------|----------------|
| Necesidad de reorientación | Media | Alta |
| Facilidad de manejo | Sencilla | Regular |
| Estabilidad frente al viento | Alta | Baja |
| Temperaturas alcanzables | Medias | Altas |
| Velocidad de cocción | Baja | Alta |
| Necesidad de vigilancia | Muy baja | Muy alta |
| Riesgo de incendio | Nulo | Alto |
| Precio | Bajo | Más alto |
| Mantenimiento | Muy reducido | Regular |
| Facilidad de acceso a olla | Reducido | Fácil |
| Auto construcción | Fácil | Más complicada |
| Limpieza de la olla | Sencilla | Normal |
| Facilidad de almacenaje | Buena | Más complicada |
| Permite freír y/o asar | No | Si |

Figura 3.9. Tabla comparativa Acumulación Vs Concentración.

Fuente: "La cocina solar. El nuevo arte de cocinar de modo saludable y ecológico" J. GARCÍA.

3.3.4. OTROS FACTORES

El calor dentro de una cocina solar nunca se mantiene constante de forma indefinida. Aunque nuestra cocina esté perfectamente aislada o la radiación sobre ella sea invariable, siempre se va a perder energía calorífica a través de tres fundamentos de la transferencia de calor: la **conducción**, la **convección** y la **radiación**.

Conducción

La conducción es lo que conocemos como transferencia de calor por difusión. Esto se refiere al transporte de energía en un medio debido a un gradiente de temperatura, ya que el calor siempre va a viajar de lo caliente a lo frío.

Esta transferencia de energía se da entre las partículas más energéticas hacia las menos energéticas, en nuestro caso, la conducción se va a producir a través de las paredes de nuestro horno solar (aunque el aislamiento de estas paredes lo retarda, no lo disipa en su totalidad) y del propio cristal por el que pasa la radiación. En el resto de cocinas solares, la conducción se da únicamente sobre las paredes del recipiente que se este calentando.

Convección

La convección hace referencia al aire caliente que se produce en el interior de los dispositivos de cocción. Estos dispositivos, aunque estén hechos de los mejores materiales, siempre van a presentar huecos o imperfecciones que permitan a las moléculas de aire caliente escapar hacia el exterior.

El fenómeno de convección sobre todo se produce cuando alguno de estos dispositivos son abiertos, el cristal del horno o la tapa de la olla, es por ello que, si no podemos hacerlos herméticos por su mayor gasto o dificultad de fabricación,

debemos intentar abrirlos lo menos posible.

Radiación

La radiación la conocemos como la emisión de calor desde una fuente que esta a una temperatura mayor que la temperatura del ambiente que lo rodea a través del aire o del espacio.

Los objetos calientes, como las ollas de las cocinas, presentan en su superficie exterior altas temperaturas debido a la conducción del calor desde su pared interior. Cuando debido a este gradiente de temperatura la energía calorífica llega a la pared exterior, hace subir la temperatura por encima de la temperatura ambiente que le rodea, es por ello que nuestra olla, debido a otro gradiente de temperatura nuevo, va a irradiar calor al aire exterior.

Esquema resumen

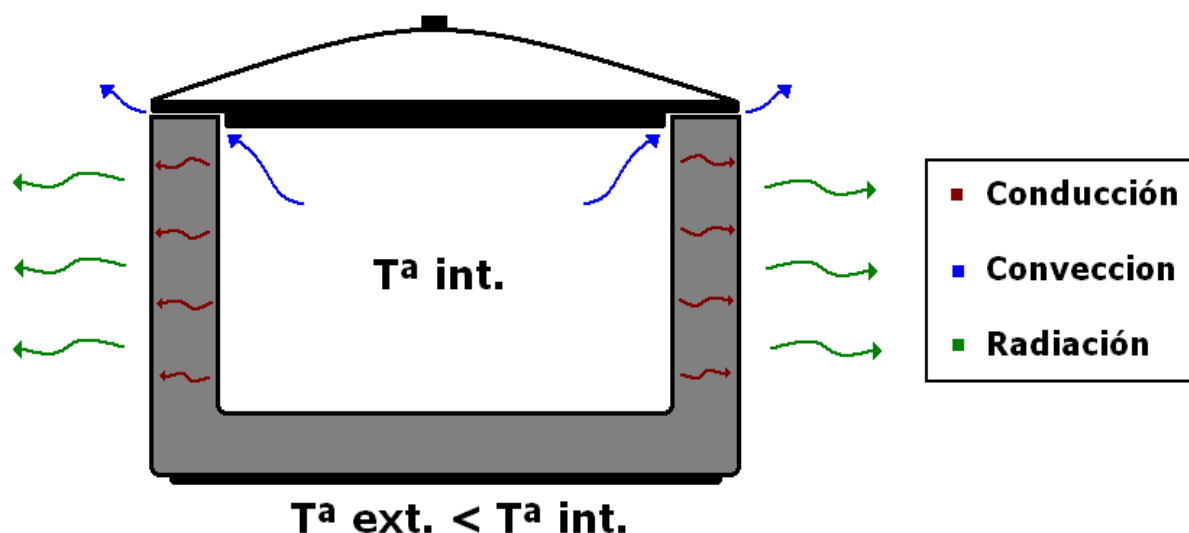


Figura 3.10. Gráfico resumen de los fenómenos de transferencia y pérdida de calor.

Fuente propia.

3.4. COCINAS SOLARES

Dentro del término de cocinas solares vamos a encuadrar a aquellos artefactos que sean capaces de cocinar únicamente con la ayuda del Sol como fuente de energía. Ni cocinas alimentadas con energía procedente de un colector solar ni otras alternativas parecidas son válidas dentro de esta familia.

Los tipos de cocinas solares que nos podemos encontrar en la actualidad van a presentar un amplio abanico de posibilidades donde poder elegir. Presentan formas muy diversas en función de los fabricantes y precios muy variables, siempre en función de la complejidad de la cocina y de los materiales que queramos elegir.

Aunque encontremos esta gran variedad de modelos y formas, todos tienen un denominador común y siempre van a estar encuadrados en tres grupos. Estos grupos van a estar clasificados por su funcionabilidad, o mejor dicho, por su principio de funcionamiento.

Estos principios los hemos podido observar de forma clara en el apartado anterior, donde hablaba de cómo funcionaban estas cocinas solares.

Los tres grupos van a ser los encargados de clasificar los diferentes aparatos de cocción en **cocinas de acumulación u hornos de caja**, **cocinas de concentración o parabólicas** y las **cocinas de panel**, más conocidas por nosotros por la denominación “**CooKit**”.

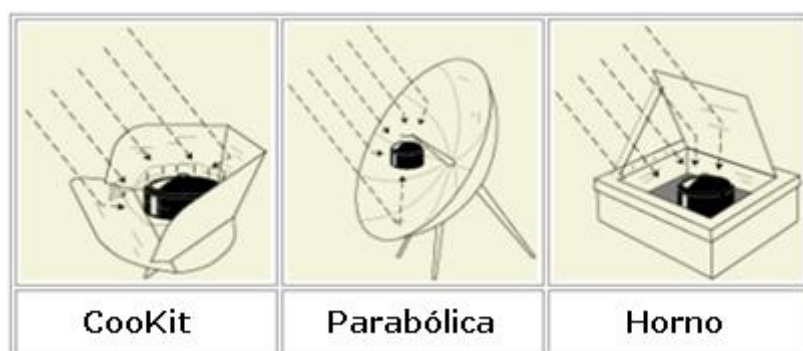


Figura 3.11. Fuente: “solarcooker-at-cantinawest.com”.

Los tres grupos anteriormente nombrados se ven diferenciados, no sólo por el nombre o por el principio de utilización de la energía que obtienen del Sol, sino por sus formas características que, en cada caso, ayudan a construcción del propio usuario de su aparato de cocina.

Gracias a esta característica de facilidad de construcción (que suele llevar de la mano la facilidad de uso y adquisición de sus propios materiales) hacen de algunos de estos aparatos cocinas más desarrolladas y populares a nivel mundial (véase el apartado de “*Impacto social*”).

La facilidad de uso, almacenamiento, transporte o incluso peligrosidad (aunque en todas ellas es baja, hay diferencias entre las mismas) van a ser otros factores desencadenantes de su uso en determinados medios, poblaciones o zonas geográficas.

Otro de los parámetros más característicos de estas cocinas va a ser los tiempos de cocción.

Los alimentos van a necesitar tiempo y temperatura para estar preparados. La temperatura que alcancemos tiene que ser la necesaria, según se muestra en la imagen siguiente, para que dichos alimentos estén libres de microbios y su consumo sea seguro.

Por este motivo, todas las cocinas solares, por muy rudimentarias que sean, tienen que llegar siempre al intervalo de temperatura óptimo y seguro (véase *figura 3.12.*).

A continuación vamos a poder observar y conocer cada una de las cocinas en profundidad, así como sus características principales y diferenciadoras de unas y otras.

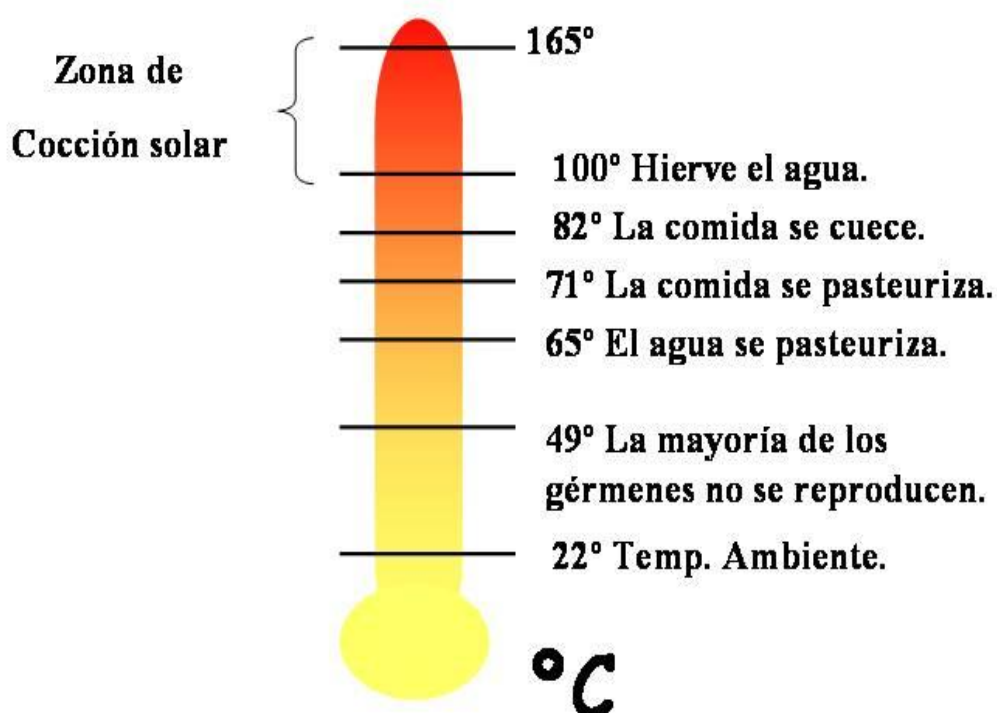


Figura 3.12. Temperaturas de la cocina solar.

Fuente: "educasitios2008.educ.ar".

3.4.1. HORNO SOLAR

Como se ha comentado anteriormente, los hornos solares van a utilizar el principio de acumulación de los rayos solares que llegan hasta él mismo para convertirlos, en la cavidad interior, en energía calorífica.

Este tipo de cocina depende del conocido "efecto invernadero", en donde el vidrio transparente permite el paso de la radiación solar de onda más corta al interior del horno, pero es opaco a la mayoría de la radiación de longitud de onda más larga procedentes de los objetos que se calientan en el interior.

El esquema típico de estos hornos va a estar representado por la imagen que podemos ver a continuación (*figura 3.13.*).

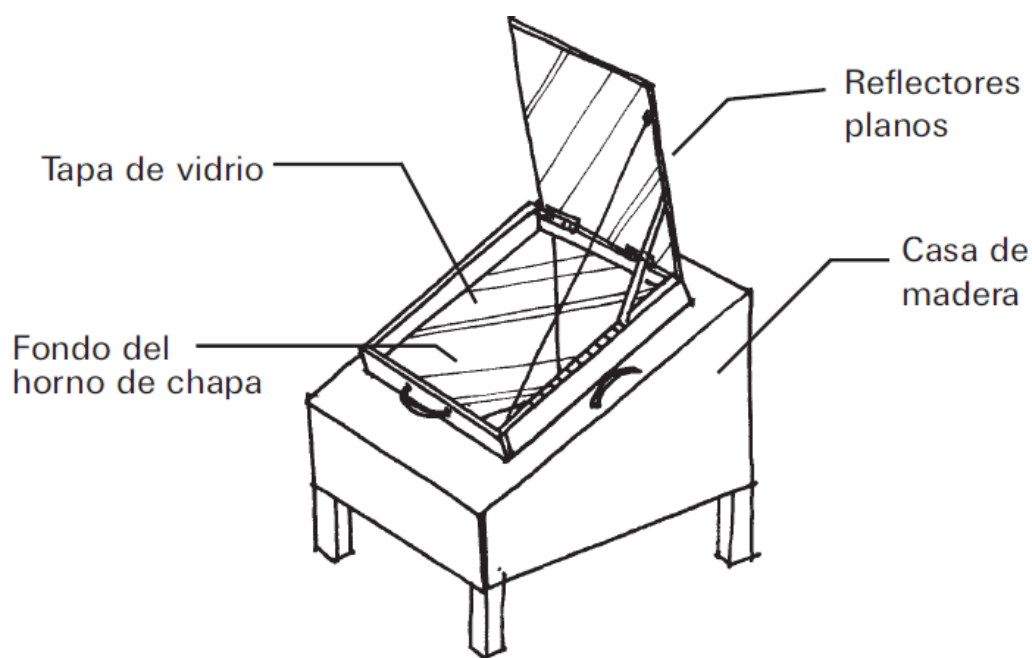


Figura 3.13. Horno solar tipo.

Fuente: Fundación Celestina Pérez de Almada.

Para la correcta construcción de un horno solar tenemos que tener en cuenta la necesidad de minimizar al máximo las pérdidas. Por esta razón, las paredes de los hornos solares se ven recubiertas por material aislante.

Aquellos materiales que queramos utilizar como aislantes tienen que tener unas propiedades mínimas para poder aguantar las temperaturas que se alcanzan en el interior de la cocina, unos 150 °C aproximadamente. Al igual nos pasa con el material que recubrirá la parte por la que pasa la radiación directa y reflejada al interior. La única condición que debe cumplir, como es normal, es que sea transparente para dejar pasar las ondas solares, pero podemos utilizar tanto vidrio como plástico.

Teniendo en cuenta que la estructura base de un horno no puede variar mucho, van a ser estos materiales los que fijen el nivel de dificultad de construcción

de la cocina o el precio final al que puede llegar su construcción.

Podemos pasar desde lo más básico como pueden ser paredes de cartón, aislante como la lana y una superficie de plástico que tape la cocina, hasta toda clase de mejoras que nos podamos imaginar; aislantes de mayor rendimiento como algunos polímeros o espumas, tapa de vidrio herméticas o más paneles reflectantes alrededor de cada una de las aristas del cubo.

A continuación podemos ver los dos ejemplos de construcción explicados en el párrafo anterior de los hornos solares (*figura 3.14* y *figura 3.15*).



**Figura 3.14. Horno solar de cartón
fabricado con
materiales reciclables.**

Fuente: "rahji.com".



**Figura 3.15 Horno solar marca SUNOVEN
fabricado en Polipropeno y vidrio.**

Valor: 250 € aprox.

Fuente: "sunoven.com".

La principal ventaja de estos aparatos de cocina es su gran independencia a la hora de preparar cualquier tipo de alimento, ya que su forma de cocción evita que estos se puedan quemar o pegar a la base de la olla aunque estén más tiempo del debido en el interior, por lo que no hay que remover.

Esto se produce por el tiempo de cocción, lo que denominamos como "fuego

lento”, y que permite tener alimentos mucho mejor cocinados y que conservan inalteradas todas sus propiedades y nutrientes.

Aunque esta característica del tiempo de cocción, según las necesidades del momento, no es siempre una ventaja. Ante la necesidad de cocinar algo de forma rápida no nos va a ser posible rebajar los tiempos de la cocina.

La temperatura que nos va a permitir alcanzar este dispositivo va a oscilar en torno a los 150 y 200 °C de máxima, dependiendo de la fabricación del mismo. Este valor lógicamente se ve reducido según la cantidad de alimentos que introduzcamos en su interior.

Por norma general, estas cocinas están diseñadas para poder cocinar una cantidad de alimentos relativa a unas 8 o 10 personas en los mejores casos.

Como se ha comentado hasta ahora, estas cocinas pueden ser fabricadas por uno mismo de forma económica utilizando recursos y materiales reciclables, pero en el caso de interesarnos una cocina más óptima de materiales de mejor calidad (esto también nos lleva a una cocina de una mayor durabilidad) su precio puede llegar a oscilar entre los 250 €.

3.4.2. COCINA DE PANEL. COOKIT

Este tipo de cocinas van a constituir la forma más simple de cocinar con la ayuda del Sol. Más simple desde el punto de vista de su construcción y uso, pues en ella si que no es necesario invertir apenas tiempo ni dinero. Cartón y papel reflectante (normalmente papel de aluminio), en eso se resume la estructura de estas cocinas.

Su poco peso y facilidad de plegado hacen de ella un objeto que es muy fácil de guardar y transportar.

Su principio de funcionamiento, lejos de estar encasillado únicamente en acumulación o concentración de la radiación solar incidente, va a utilizar ambos

principios para poder trabajar.

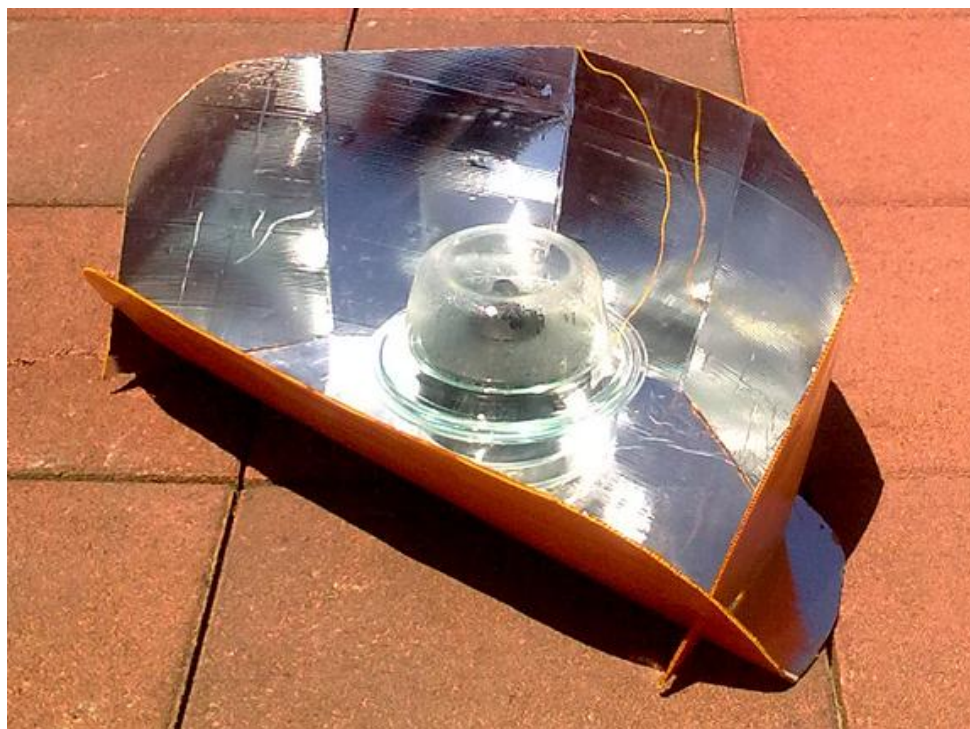


Figura 3.16. Cocina solar CookKit desarrollada por Don Antonio Lecuona Neumann.

Imagen cedida por la alumna Lucía García Prevot.

La concentración de los rayos es fácil ver a simple vista, puesto que las paredes inclinadas desarrollan dicho fin, pero la acumulación del calor no se da únicamente con la estructura que presenta la cocina.

A la hora de cocinar vamos a necesitar dispositivos de retención de calor, tales como bolsas de plástico (lo más básico y fácil de encontrar) o, como se ve en la imagen anterior, dos ojos de lavadora colocados de forma opuesta entre ellos.

En el interior de estos dispositivos se introducirán los recipientes con los alimentos que necesitemos cocinar, y así, al funcionar como acumuladores de calor, las pérdidas serán mucho menores y los tiempos de cocción se reducirán.

Ya se conocen las ventajas de estas cocinas, su facilidad de uso y construcción y su más que reducido precio. Pero no todo juega a su favor, ya que de

ser así, su uso se habría estandarizado mucho más. Estos dispositivos presentan desventajas teniendo en cuenta las necesidades de la gente y el poco tiempo que tiene la sociedad para invertirlo en cocinar.

Las CookIt, comparadas con los hornos solares, presentan tiempos de cocción aún más lentos; y aunque es cierto que alcanzan temperaturas de hasta los 100 °C (más que suficientes para obtener alimentos bien cocinados), estas tardan mucho en ser alcanzadas.

Otro factor que juega en su contra es la fragilidad. Si su bajo peso hacen de este tipo de cocinas sean perfectas para ser transportadas, el mismo factor se muestra como desventaja ante vientos relativamente fuertes o cualquier tipo de imprevisto meteorológico.



Figura 3.17. Cocina solar sujeta por piedras.

Fuente: "solarcooking.wikia.com".

Aunque comúnmente, los materiales en este caso siempre son los mismos (podemos cambiar el cartón por plástico, aunque éste último es mucho menos manejable), las formas de encontrarnos las cocinas pueden ser bastante variadas.

Algunos de los ejemplos de las cocinas de panel o “CookIt” más frecuentes son los siguientes:

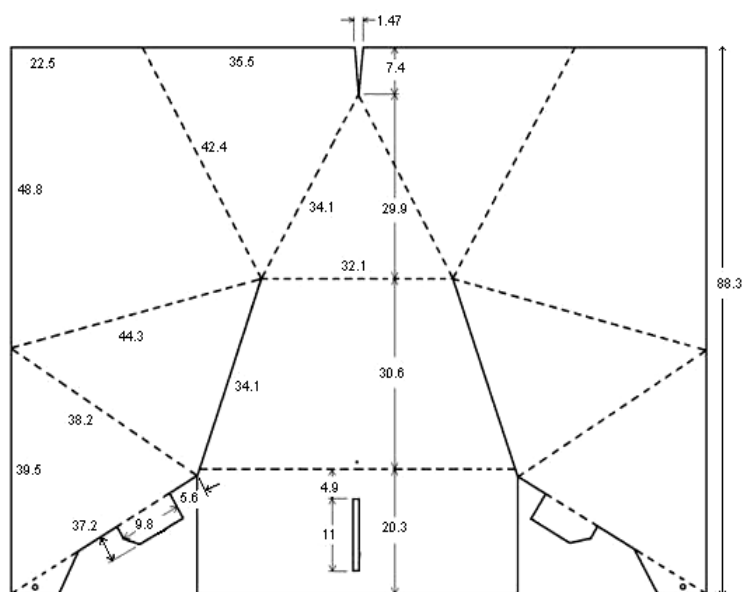


Figura 3.18. Plano y modelo terminado.

Fuente: “Museo Interactivo de Ciencias PuertoCiencia”.



Figura 3.19. Parasol de automóvil transformado en cocina solar.

Fuente: “solarcooking.org”.



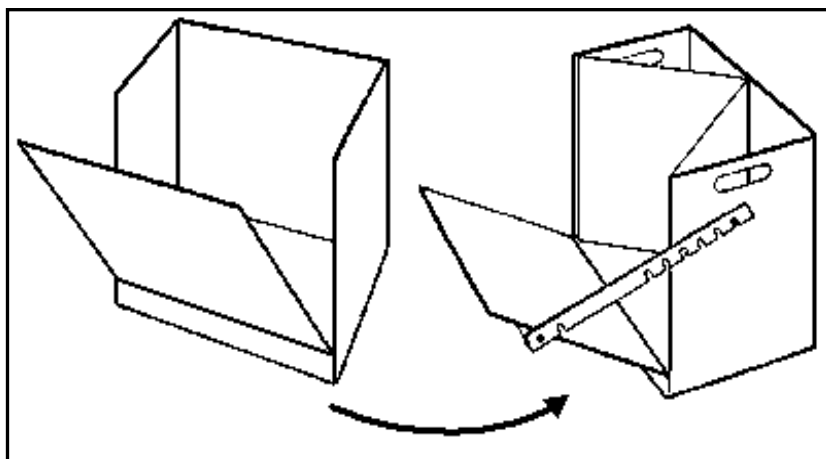


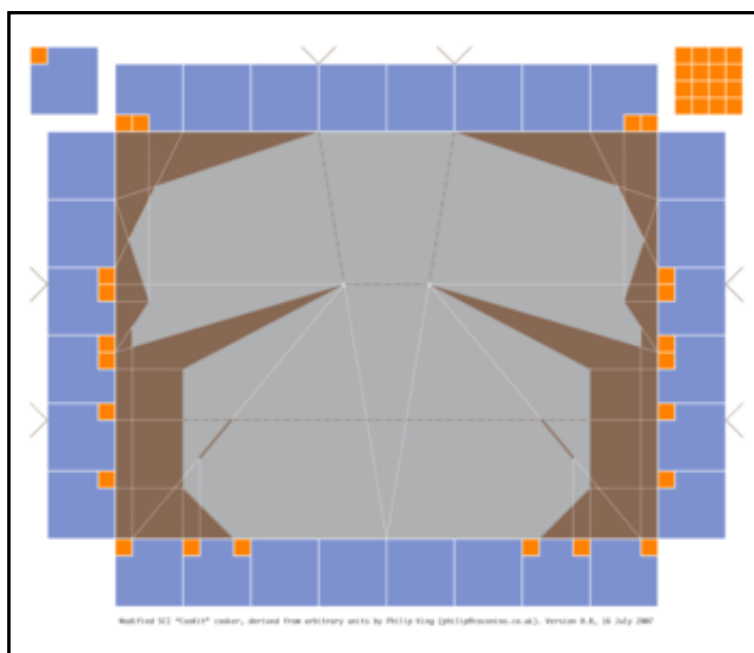
Figura 3.20. Planos y modelo terminado.

Fuente: "solarcooking.org".



Figura 3.21. Plano y modelo terminado.

Fuente: "solarcooking.org".



3.4.3. COCINA PARABÓLICA

Puesto que el proyecto gira entorno a este tipo de cocinas y su funcionamiento, su estudio nos va a llevar mayor tiempo que el resto de cocinas, por lo que las mismas van a ser desarrolladas en profundidad en el apartado 6 de este proyecto.

3.5. OTROS MODELOS

Hasta la fecha, los modelos de cocinas solares más desarrollados y popularizados han sido los pertenecientes a los tres grupos nombrados en el apartado anterior, pero su desarrollo no se ha frenado ahí. En los últimos años, la evolución en la utilización de la radiación solar nos ha mostrado otros dispositivos que facilitan la labor de cocinar, y lo siguen haciendo de forma limpia y gracias a los rayos del Sol.

Entre estos dispositivos desarrollados cabe destacar las cocinas “**Devos**” o “**Primrose**” o los **secaderos** de alimentos.

3.5.1. COCINA DEVOS O PRIMROSE

Este modelo de cocina, sólo con verlo a simple vista, sabemos que va a utilizar el mismo principio de funcionamiento que las cocinas solares parabólicas, la concentración de rayos. Estos rayos incidentes van a incidir sobre una superficie cóncava que va a reflejar todos ellos a un mismo punto común denominado foco.

Pero, aunque este funcionamiento sea tan parecido, no podemos asociar ambas cocinas en un mismo grupo, puesto que la estructura de la cocina Devos o Primrose (ambos términos hacen referencia a la misma cocina) poco tiene que ver.

Como se podrá observar en la *figura 3.22.*, la principal variación respecto a lo que se había visto hasta ahora es la introducción de una mesa a modo de mueble de cocina. En la parte superior de la misma hay un agujero, en donde se introduce el recipiente de cocción y sobre donde se van a concentrar la reflexión de los rayos solares incidentes sobre la placa, ese es el foco.



Figura 3.22. Cocina solar Devos.

Fuente: “INTRODUCCIÓN DE LA COCINA SOLAR EN LA ISLA DE LA ESPAÑOLA”.

Dr. M. Félix Mendiá Urkiola. Universidad del País Vasco.

Al incidir el mismo sobre la parte inferior de la cocina, hay que tener cuidado a la hora de retirar el recipiente, puesto que el foco de la radiación puede pasar a incidir sobre la propia persona.

Al utilizar únicamente el principio de concentración, el hecho de orientar continuamente el panel de la cocina se hace indispensable para que ésta funcione de manera eficiente.

Al igual que las parabólicas, estos dispositivos nos permiten alcanzar temperaturas muy altas, suficientes para cocinar cualquier tipo de alimento, en un corto periodo de tiempo.

Si seguimos comparándolas, este tipo de cocinas son bastante más seguras que la mayoría de las parabólicas a la hora de cocinar, puesto que, como se puede observar, su estabilidad es muy alta debido a la estructura de la mesa. Pero su

construcción y, sobre todo, su almacenamiento se hacen un poco más difíciles al resto de las cocinas vistas hasta ahora.

3.5.2. SECADEROS

Los secaderos, a diferencia de las cocinas solares, no nos van a proporcionar ningún tipo de alimento cocinado, sin embargo, si que va a resultar muy importante en la alimentación de la gente que utiliza estos dispositivos. Pero, ¿por qué?

El hecho de secar los alimentos permite que éstos se conserven de forma correcta con el fin de poder ser consumidos en meses venideros, evitando que se pudran y se tengan que desechar.

Los secaderos solares se desarrollan para que la tarea del secado de alimentos sea rápida y segura, ayudándose de la radiación solar incidente sobre su cristal y al incremento de calor que tiene lugar en su interior.

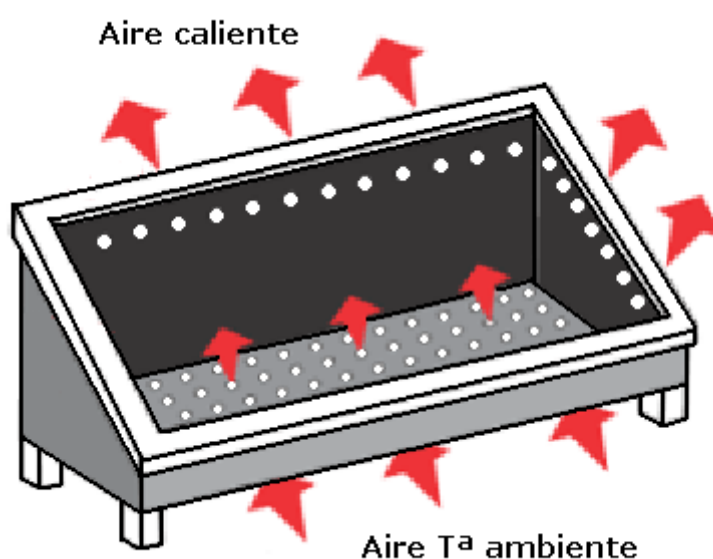


Figura 3.23. Secador solar.

Fuente: "uncooped.com".

Como vemos en esta imagen (*figura 3.23.*), su estructura se semeja mucho a un horno solar como los vistos hasta ahora, pero a diferencia de estos dispositivos, lo que interesa de los secadores es que el aire circule en el interior de la cavidad.

El aire a temperatura ambiente entra por la parte inferior del secador, y una vez en su interior, al incidir la radiación solar, este aire se calienta y asciende hasta la parte superior de la cavidad, donde están las zonas de salida de este aire caliente.

Todo este ciclo de aire cálido y seco va a proporcionar que la humedad que presente cualquier alimento colocado en su interior se evapore de los mismos y pase al aire que se dirige al exterior del secadero.

4. COCINA PARABÓLICA

Una vez conocidos los principales modelos de cocinas solares, falta por enumerar el último de ellos y, para este proyecto, el más importante, ya que es objeto de estudio: la **cocina solar parabólica**.

Este tipo de cocinas es fácilmente reconocibles por su diseño característico, totalmente diferente del que se ha visto hasta este momento. La denominación que recibe esta cocina hace honor a la forma que presenta, una parábola.

Lo primero que se le puede venir a cualquier persona a la mente ante dicho dispositivo es su gran semejanza a las más que conocidas antenas parabólicas que se encargan de captar la señal de televisión (entre otras). Esta forma que toma la cocina solar no es coincidencia, ya que, al igual que estas antenas, la forma parabólica permite captar la mayor parte de ondas incidentes y que estas sean concentradas en un mismo punto común, lo que es denominado como foco.



Figura 4.1. Cocina solar parabólica Vs Antena parabólica.

En la *figura 4.1.* se puede observar dicha semejanza. A la izquierda se encuentra la cocina solar gracias a la cual se ha podido desarrollar este proyecto, la cual es propiedad de la Universidad Carlos III; a la derecha, un modelo de antena parabólica que capta la señal de televisión.

La cocina solar parabólica se aleja de la visión que hasta ahora habían

mostrado los otros dos grupos principales, la CookIt y el horno. Este modelo, de mayor tamaño y menos manejable, compensa cualquiera de sus defectos con su gran rendimiento térmico, frente a cualquier cocina, a iguales condiciones térmicas.

Este gran rendimiento se lo van a dar varios factores, como es la amplia área de superficie de captación que presenta, el alto factor de reflexión de los materiales que la recubren y, por encima de todo, la concentración de los rayos incidentes. La ley de la parábola se va a encargar de explicar el porqué de este principio de funcionamiento.

4.1. PRINCIPIO DE LA PARÁBOLA

La definición de parábola habla del *“lugar geométrico de los puntos que equidistan de una recta (directriz) y un punto fijo (foco)”*. Lo que esto nos quiere decir es que la forma que va a presentar la parábola hace que la distancia de cualquier punto de la misma, en línea recta, al foco, va a ser de igual valor a la distancia de ese mismo punto a la directriz, trazando una perpendicular a esta última (*Figura 4.2.*).

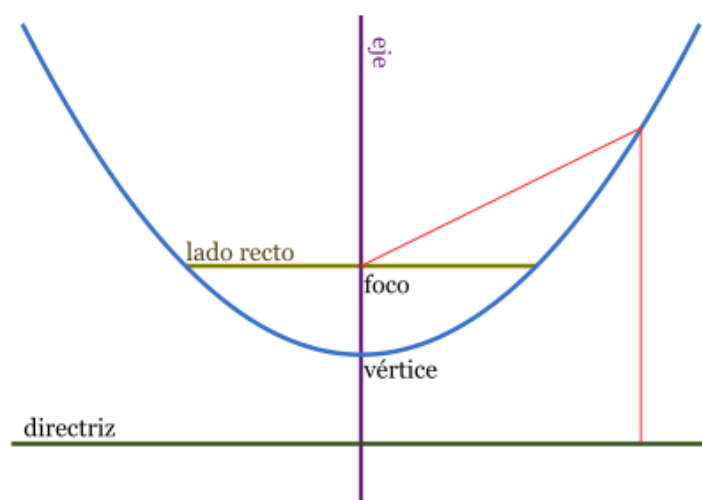


Figura 4.2. Definición geométrica de parábola.

Fuente: “Wikimedia Commons”.

Las parábolas siempre van a presentar la misma forma característica tales como la vista en la *figura 4.2*. El hecho que podamos ver diferentes tamaños de gráficas no significa que no sean iguales, ya que todas van a ser semejantes y lo único que va a cambiar entre ellas va a ser su escala.

Esta escala, o zoom, va a depender de los valores que se tomen en las ecuaciones características de la parábola. Estos valores son los que van a acompañar a las variables “x” o “y”, dependiendo si la parábola es vertical u horizontal. La **ecuación general** va a presentar la siguiente forma:

| Parábola vertical | Parábola horizontal |
|---------------------|---------------------|
| $y = ax^2 + bx + c$ | $x = ay^2 + by + c$ |

El valor de las constantes “a”, “b” y “c” nos va dar la forma de la parábola, y el signo que les acompañe, nos va a dar la orientación.

Aparte de la ecuación característica que encierra a todas las parábolas, también esta puede ser diseñada a partir de una distancia focal dada. El valor de esta distancia, que va desde el vértice al foco, va a estar representado por la variable “p”, y la **ecuación en función del foco** con la que se va a trabajar va a tener la siguiente forma, en función de “x” e “y”.

| Parábola vertical | Parábola horizontal |
|---------------------------|---------------------------|
| $(x - h)^2 = 4p(y - k)^2$ | $(y - h)^2 = 4p(x - k)^2$ |

Donde el vértice ocupa las coordenadas (h,k).

Todas las cocinas parabólicas deben estar directamente sujetas a este principio de la parábola, puesto de directamente de ello depende no sólo su eficiencia, sino directamente su funcionamiento.

4.2. DISEÑO Y POSICIÓN RESPECTO AL SOL

El diseño de las cocinas parabólicas va a estar muy estandarizado, y aunque todas cumplen con el mismo principio, como se explicaba en el apartado anterior, cada una de ellas lo va a hacer con muy diferentes geometrías.

La geometría característica de la cocina, junto con el tamaño y los materiales reflectantes (y sin olvidar la intensidad de radiación) es la que nos va a dar lo que se conoce como “potencia de salida” de cada cocina. La correcta combinación de los factores dará rendimientos más altos.

El diseño de la cocina por sí solo nos sigue dando pistas de cómo se comportan estos dispositivos. Su uso va a estar limitado ante condiciones inestables de viento. Este viento, en función de su potencia, va a hacer que nuestra cocina se mueva y se vuelva bastante inestable. Los movimientos continuos, a parte de ser altamente peligrosos cuando se está trabajando con líquidos que llegan a alcanzar temperaturas extremadamente altas (como para poner en peligro la integridad de la persona que lo está manejando ante un contacto directo), hacen que la cocina no mantenga una correcta orientación al sol y, por lo tanto, el porcentaje de los rayos reflejados que inciden sobre el foco disminuye de forma considerable.

Su uso también requiere de unas condiciones de radiación constantes, donde el más mínimo cambio, por ejemplo en forma de nubes en el cielo, altera en gran proporción su rendimiento, y es por esto que sólo va a funcionar con los rayos que incidan directamente sobre su superficie de reflexión (no los difusos). Esta premisa va a hacer que su estudio pueda realizarse únicamente en días soleados y despejados y teniendo en cuenta únicamente la radiación directa, no la global, sobre el plano de la superficie de la cocina.

Al tener en cuenta únicamente esta radiación directa sobre el plano de la cocina, debemos estimar cual va a ser la altura del sol para los días en los que se han realizado los ensayos. Como ya se ha explicado en el apartado “2.2.1.4. Zonas y horas de sol. Estaciones”, el ángulo de incidencia va a permitirnos hacer la conversión entre la radiación sobre el plano horizontal y la radiación sobre el plano normal a los rayos solares. La *figura 4.3.* nos permite ver cuales van a ser estos ángulos para los meses en los realizamos las mediciones.

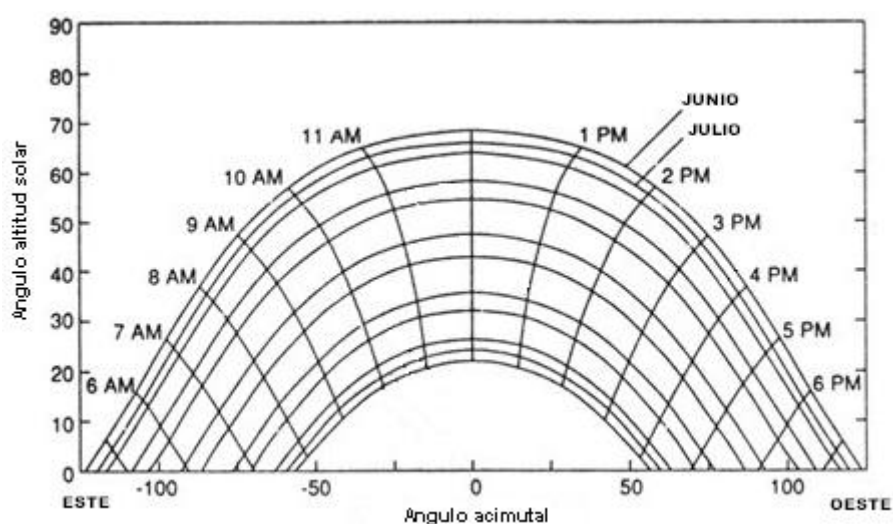


Figura 4.3. Posición solar para cada mes en función de la hora (zona horaria hemisferio norte).

Fuente: “Solar engineering of thermal processes” J.A. Duffie, W.A. Beckman.

Como se puede observar en la gráfica, desde que el sol sale hasta que se pone describe una misma curva durante todo el año, donde únicamente cambia la altura que alcanza a lo largo del día. Entre los meses de junio y agosto (los tres que presentan un mayor ángulo de altitud solar) se va a llevar cabo la totalidad del estudio del proyecto, es por eso que son los tres únicos meses que nos interesan.

Por el motivo anteriormente descrito, el movimiento del sol, y junto con la necesidad de que la cocina este orientada a los rayos solares incidentes, se hace necesario que el dispositivo de cocción presente ciertos grados de libertad en sus movimientos que nos permitan mover de forma sencilla todo el dispositivo para que esté continuamente orientado y el foco no se desplace del punto deseado.

La *figura 4.4.* muestra los grados de libertad con los que cuenta específicamente la cocina con la que se ha realizado todo el ensayo.

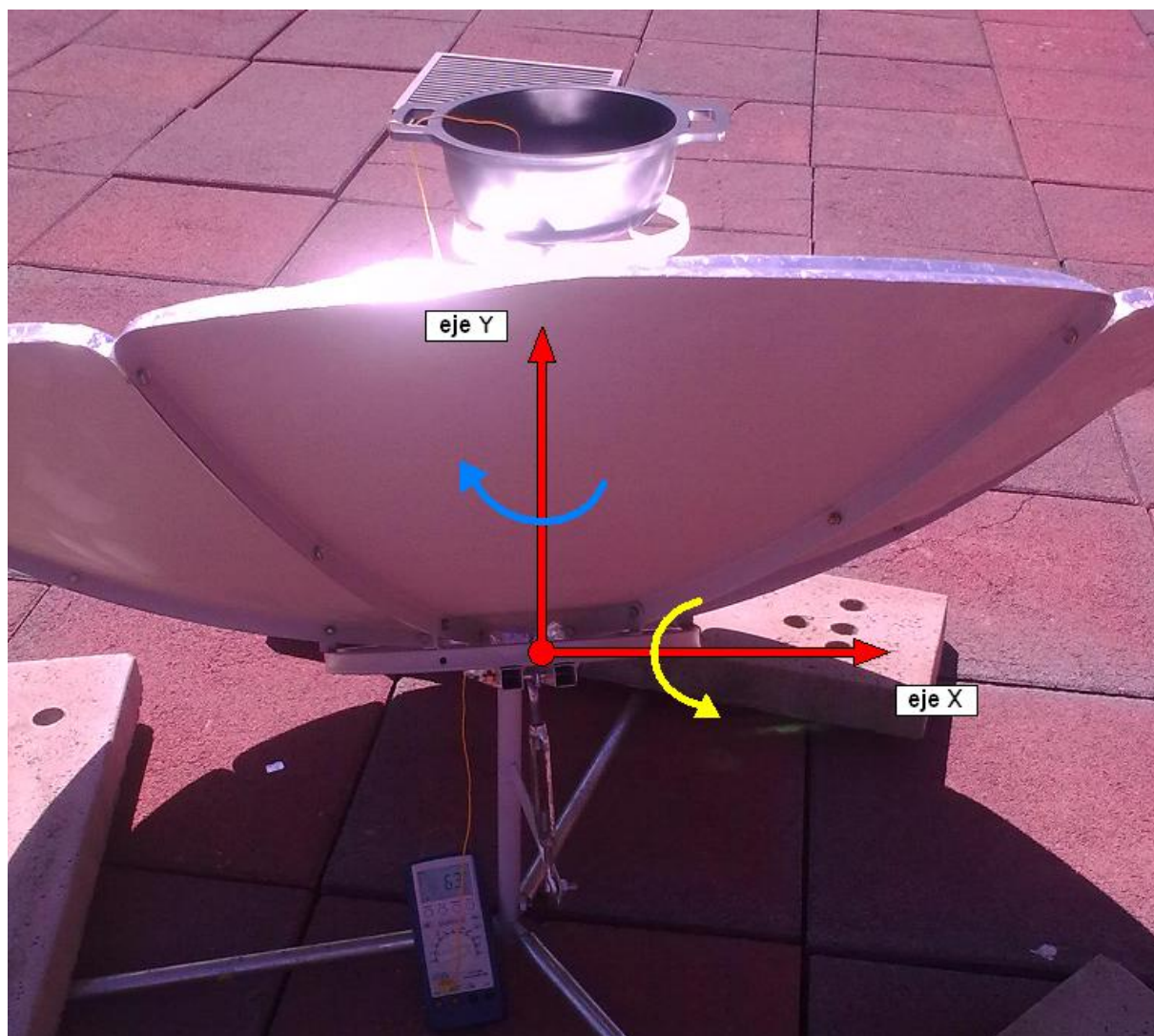


Figura 4.4. Representación de los giros de la cocina parabólica.

Fuente propia.

Visto así, podemos conseguir que la cocina siempre esté orientada hacia los rayos directos y conseguir que el foco esté situado siempre en el mismo punto de cocción. Los ejes que nos van a permitir el giro van a ser todos menos el “z”, puesto que este eje no es necesario para conseguir dicho fin.

Dependiendo del dispositivo que se utilice, presentarán diferentes formas de regular estos movimientos, llegando incluso a ser alguno de ellos automáticos; esto es, que el uso de ciertos dispositivos electrónicos, tales como pequeños motores rotativos, permiten que los giros en los dos ejes representados se realicen, gracias a su programación, de manera independiente y constante, haciendo que la cocina gire a una velocidad que será constante en el eje “y”, que será igual a la velocidad de rotación propia de la Tierra, **15º/hora***. En el eje “x”, el movimiento presentará diferentes valores en función de la época del año en la que nos encontremos, ya que el sol presentará una altura diferente, siendo el movimiento nulo en su Cenit. A ambos lados de este, los valores serán iguales, pero de signo contrario. Con todo esto, el dispositivo no presentará movimiento alguno respecto al Sol.



Detalle Figura 4.4. Regulador manual del giro en el eje “x”.

Fuente propia.

** La velocidad de giro de 15º/hora será exacta en un eje paralelo al eje de giro de la Tierra*

Volviendo a la cocina objeto de nuestro estudio, la regulación manual del giro de sus ejes, como se puede ver en la *figura 4.4.*, es muy sencilla de realizar, aunque también es fácil de desestabilizar. La regulación en el eje “x” es totalmente independiente de la base de la cocina, su movimiento no conlleva el movimiento de la olla de cocción. Al contrario pasa con el movimiento del eje “y”; en la *figura 4.4.* se puede observar cómo este eje es común a la base donde se sitúa el foco, donde cualquier movimiento de orientación que se realice conlleva el consiguiente movimiento del propio foco y, por tanto, del recipiente que se esté utilizando en ese momento.

Todo esto lo tenemos que acompañar del hecho de que estamos trabajando con una cocina que nos permite hervir agua y llegar a alcanzar temperaturas del orden de más de 200 grados centígrados sobre líquidos como, por ejemplo, el aceite de girasol, por lo que la estabilidad para un manejo seguro se hace indispensable.

4.3. RIESGOS DERIVADOS DE SU USO

Como se ha hecho referencia hasta ahora, el mayor riesgo que se presenta en la cocina es su inestabilidad frente a su gran poder de calentamiento, ya que se manejan materiales a unas temperaturas que resultarían más que peligrosas para la integridad física de la persona que las maneja. Su contacto directo con la persona provocaría quemaduras de gran alcance.

Pero, a parte de la inestabilidad, hay que hacer referencia al alto riesgo de incendio frente a una desorientación del foco de la cocina. Como se ha especificado hasta ahora, el poder de calentamiento se centra todo en el foco procedente de la forma característica que presenta la cocina parabólica, es así que, al igual que puede calentar una gran cantidad de líquido hasta hacerlo llegar a sus temperaturas de ebullición, puede prender cualquier tipo de material que se encuentre en su camino.

La siguiente imagen (*figura 4.5.*) da muestra de lo que supone una desorientación de la cocina.



Figura 4.5. Cocina solar parabólica desorientada del plano normal a la radiación.

Fuente propia.

Como se puede observar en la figura anterior y gracias a las sombras que proyecta el dispositivo de cocción sobre el suelo, la cocina se encuentra de espaldas a los rayos incidentes, por lo que el foco de calor no se encuentra centrado sobre la base de la olla. Pero si nos fijamos bien en la imagen, el círculo rojo descrito sobre la misma está señalando el lugar donde se encuentra el foco que producen los rayos incidentes de la cocina en ese momento dado.

Que la cocina se encuentre desorientada de los rayos de sol no quiere decir que la geometría parabólica que representa no siga describiendo un foco sobre el que se cumple todos los principios descritos en el apartado 4.1.

En nuestro caso concreto, el suelo esta compuesto de cemento (material ignífugo) y se encuentra exento de cualquier elemento susceptible de ser prendido por el foco de la cocina, por lo que, inicialmente, no existe riesgo de incendio. Pero no siempre es así, puesto este tipo de cocinas, a parte de ser diseñadas para cocinar en espacios abiertos, son especialmente útiles en los casos en los que la energía eléctrica no llega, y esta circunstancia se da con más asiduidad en espacios verdes alejados de la ciudad o, como se ha visto en apartados anteriores, en zonas subdesarrolladas en los que las aldeas no poseen ningún tipo de energía eléctrica para cocinar.

Pero no solo esta presente el riesgo de incendio, ya que para manejar esta cocina, la persona encargada de ello tiene que estar cerca de la olla. En este caso, para acceder a dicho recipiente, se tiene que pasar justo por delante de la base sobre la que se encuentra colocado, incidiendo en el nuevo trayecto que ha descrito el foco de la cocina. Sólo por el hecho de estar expuesto un par de segundos a dicho rayo, la ropa o la piel sobre la que incida mostrará una pequeña quemadura.

En resumen, ya se han expuesto los principales riesgos de su utilización, como son el riesgo de incendio y las quemaduras. Dicho esto, para su correcto uso se aconseja que siempre se utilicen guantes para el manejo del recipiente de cocción, así como gafas de sol para protegernos de los rayos reflejados sobre la superficie de la cocina. También se aconseja que después de la utilización de la cocina solar parabólica, esta sea desmontada o movida hacia una zona de sombra. De no ser esto posible, su superficie puede ser tapada, en la medida de lo posible, por una manta oscura, asegurándonos que esta proteja bien los rayos incidentes sobre la cocina.

4.4. MODELOS

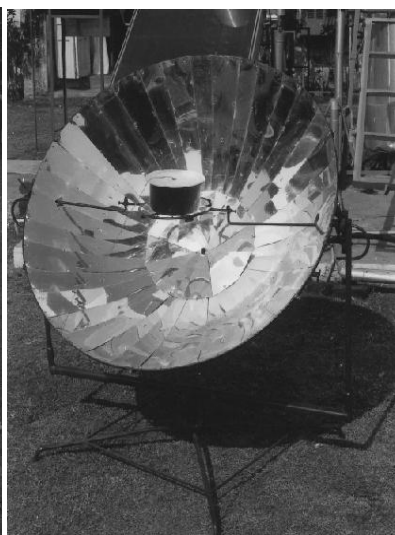
A continuación se pueden ver los tres principales ejemplos de concentradores solares desarrollados hasta la fecha. Estas tres cocinas han sido estudiadas en el artículo desarrollado por **N.V. Patel** y **S.K. Philip** para el “*Sardar Patel Renewable Energy Research Institute*” sobre el estudio de rendimiento de los tres concentradores solares. Las imágenes que a continuación se muestran han sido tomadas de dicho artículo.



**Concentrador
filipino**



**Concentrador
chino**



**Concentrador
alemán**

El concentrador alemán presenta una estructura semejante a la cocina sujeta a estudio en este proyecto. Sus pequeñas diferencias hacen referencia a temas de accesibilidad o comodidad de utilización, no a la potencia de cocción, puesto que siempre que el tamaño (área de apertura) de las cocinas sea semejante, muy parejos serán sus rendimientos respectivos.

5. NORMATIVA ACTUAL

Hasta no hace mucho tiempo se ha visto que el uso de estos dispositivos no estaba ni mucho menos estandarizado en la sociedad, y aun era más escaso el interés si hacíamos referencia a los países desarrollados.

Las cocinas solares se han visto como medios de estudio de cómo los rayos solares pueden aplicar calor de forma concentrada sobre una región (o ser acumulado en un espacio cerrado), y mediante este principio, utilizar dicho calor para cocinar alimentos. Lo que antes era sólo un estudio solar va pasando a formar parte de una forma distinta de cocinar, más limpia y sobre todo más ecológica.

Es cierto que a día de hoy, un alto porcentaje de la sociedad desconoce estos aparatos de cocina, pero gracias a la publicidad y a la conciencia de energías limpias que se esta intentando instaurar en la sociedad, vamos conociendo la amplia variedad de dispositivos diseñados para capturar la energía del sol y aprovecharla para cocinar los alimentos.

Por esta misma razón, por la amplia variedad de dispositivos que ya existen (y los que estén por venir), se hace indispensable una herramienta comparativa entre ellos que los encuadre, no sólo por su diseño o el principio de calor que utilicen, como hasta ahora hemos visto, sino por su eficiencia y rendimiento energético, y su capacidad de trabajo.

Actualmente hay tres normas de ensayo que se utilizan a nivel mundial: la **Sociedad Americana de Ingenieros Agrónomos (ASAE S580)**, la **Oficina de Normas de la India** y el **Comité Europeo de Investigación sobre la Cocina Solar**. Estas normas difieren ampliamente en su alcance, complejidad y en los resultados obtenidos, pero son una herramienta comparativa muy útil entre los diferentes dispositivos.

Estas normas han sido y siguen siendo examinadas y comparadas continuamente, ya que en el campo en el que nos movemos sigue habiendo un claro margen de innovación y mejora.

5.1. SOCIEDAD AMERICANA DE INGENIEROS AGRÓNOMOS (ASAE S580)

Este estándar, desarrollado por el Dr. Paul Funk, fue aprobado en 1997 como norma internacional de ensayo para las cocinas solares. El objetivo de esta norma, como se puede observar en los cálculos que en ella se realizan, es meramente comparativo, basándose en los datos de rendimiento que se desprenden de los valores de potencia desarrollados por cada dispositivo.

La norma ASAE S580 se caracteriza por ser un estándar sencillo en los cálculos pero muy significativos en la práctica comparativa.

A la hora de llevar a cabo el ensayo, debemos cumplir con el procedimiento que la norma nos especifica. Este ensayo quedará invalidado siempre que sea realizado frente a fuertes vientos, baja insolación o baja temperatura ambiente.

Para llevar a cabo el ensayo debemos dejar registrados ciertos valores que van a ser indispensables para el cálculo del factor de mérito, la potencia “P”. Estos valores son la masa de agua y el recipiente en kilogramos con la que iniciemos el ensayo y sus capacidades caloríficas respectivas. Partiendo de esta base y con la cocina totalmente preparada y orientada hacia el sol (precalentada), realizamos tomas de temperatura en intervalos de 10 minutos, donde queda registrada la temperatura inicial y final de cada intervalo, así se puede hacer con los intervalos necesarios hasta llegar a la temperatura de estancamiento, en nuestro caso (con el agua), temperatura de ebullición.

Procedimiento 1:

$$P = \left(\frac{T_2 - T_1}{600} \right) C$$

Donde:

P = Potencia de la cocina [W]

T₂ = Temperatura final del líquido

T₁ = Temperatura inicial del líquido

C = masa por capacidad calorífica [kJ/K]

NOTA 1: El resultado de la ecuación se divide entre 600 ya que tenemos que tener en cuenta el número de segundos en cada intervalo de 10 minutos.

NOTA 2: Veremos cómo a medida que nos acercamos a la temperatura de ebullición el incremento de temperatura es menor y por lo tanto la potencia de cocción es también más baja. La potencia más alta y, por lo tanto, característica de cada cocina nos la dará el valor del primer intervalo, donde se experimenta la mayor subida de temperatura.

A parte del valor que obtenemos llevando a cabo el primer procedimiento, hay un segundo paso que nos va a dar el valor de la potencia normalizada de nuestra cocina. Para normalizar nuestra potencia obtenida en el paso uno, tenemos que tener en cuenta otros parámetros diferentes de los anteriormente descritos.

Procedimiento 2:

$$P_s = P \left(\frac{700}{I} \right)$$

Donde: P_s = Potencia normalizada de la cocina [W]

P = Potencia de la cocina [W]

I = Radiación sobre la superficie de la cocina [W/m^2]

700 = Valor normalizado de radiación [W/m^2]

NOTA 1: Gráficamente podemos obtener una regresión lineal trazando los valores de P_s frente a ΔT .

NOTA 2: Debido a los valores que obtenemos de este ensayo, su uso queda limitado únicamente al campo comparativo, puesto que en él no se hace referencia ninguna a las pérdidas de calor producidas durante el calentamiento.

5.2. OFICINA DE NORMAS DE LA INDIA

La norma India surge como una importante necesidad ante el auge que se registra de las cocinas solares, especialmente, **el modelo de caja**. Estas cocinas son las más sencillas de construir y utilizar, y su rendimiento, con temperaturas de en torno a 100 °C, es más que suficiente para llevar a cabo la cocción de cualquier tipo de alimento. Estos dispositivos llevan a la sociedad india, una sociedad con recursos limitados en gran parte de su población, a ver una alternativa viable tanto económica como funcional al hecho de cocinar.

Aunque inicialmente, y a causa del desarrollo de la cocina de caja en la sociedad india, la norma esté dirigida a dicho modelo, su principio de cálculo de rendimiento permite utilizar esta norma para obtener rendimientos de cualquier dispositivo de cocción y poder realizar una comparativa real de los rendimientos de las cocinas.

El método de ensayo de la Norma India no se basa en valores directos de potencia, como se podía ver en el caso anterior de la Norma ASAE S580, sino que, ante los valores de determinados parámetros que obtenemos de su funcionamiento, conseguimos calcular el valor de dos figuras de mérito que nos ayudan a clasificar la eficiencia de cada cocina.

Estas dos figuras de mérito, F_1 y F_2 , quedan representadas mediante las siguientes ecuaciones:

- **Figura de mérito 1:**

Para desarrollar esta figura de mérito, partimos de la ecuación del balance de energías en la cocina.

$$\eta_0 \cdot I \cdot A_a = AUF'_{st}(T_{st} \cdot T_a)$$

Donde el valor de F_1 queda definido de la siguiente forma:

$$F_1 = \frac{\eta_0}{(UF')_{st}} = \frac{A}{A_a} \cdot \frac{(T_{st} - T_a)}{I}$$

Donde: η_0 = Rendimiento óptico de la cocina
 $(UF')_{st}$ = coef. global de transferencia de calor (estancamiento)
 A = Área exterior del recipiente [m^2]
 A_a = Área de apertura de la cocina [m^2]
 T_{st} = Temperatura de la placa de absorción (estancamiento) [$^{\circ}C$]
 T_a = Temperatura ambiente del aire [$^{\circ}C$]
 I = Radiación sobre la superficie de la cocina [W/m^2]

NOTA 1: Se puede observar que el cálculo del primer factor de mérito se realiza sin ningún tipo de carga sobre la cocina y hasta llegar a la temperatura de estancamiento de la misma. Por este mismo motivo y al ser la temperatura de estancamiento un valor característico de la cocina, el valor de F_1 va a ser invariable (ante condiciones semejantes de radiación).

NOTA 2: Del mismo modo, despejando en el balance de energía, podemos calcular el F_1 como el rendimiento óptico de la cocina dividido por el coeficiente global de transferencia de calor para la temperatura de estancamiento.

$$F_1 = \frac{\eta_0}{(UF')_{st}}$$

• **Figura de mérito 2:**

La segunda figura de mérito, F_2 , nos va a dar una aproximación del valor del rendimiento óptico del dispositivo de cocción solar sobre el que estamos realizando el ensayo, sustituyendo en la siguiente ecuación η_0/UF' por el valor de F_1 .

$$(t_2 - t_1) = -t_0 \cdot \ln \left[\frac{1 - \frac{A}{A_a} \frac{UF'}{I\eta_0} (T_2 - T_a)}{1 - \frac{A}{A_a} \frac{UF'}{I\eta_0} (T_1 - T_a)} \right]$$

La cual se obtiene como resultado de la integración del balance de energías entre dos instantes de tiempo.

$$F_2 = -\frac{F_1 \cdot C}{A(t_2 - t_1)} \cdot \ln \left[\frac{1 - \frac{A}{A_a \cdot I \cdot F_1} \cdot (T_2 - T_a)}{1 - \frac{A}{A_a \cdot I \cdot F_1} \cdot (T_1 - T_a)} \right] \approx \eta_0$$

Donde:

- F_1 = Primera figura de mérito
- m = masa de agua [kg]
- C = masa por capacidad calorífica [kJ/K]
- A_a = Área de apertura de la cocina [m²]
- $(t_2 - t_1)$ = tiempo de exposición [seg.]
- T_1 = Temperatura inicial del alimento
- T_2 = Temperatura final del alimento
- T_a = Temperatura ambiente del aire
- I = Radiación media sobre la superficie de la cocina [W/ m²]

NOTA 1: Al establecer una temperatura de referencia, la solución de la ecuación anterior puede describir, frente a la variable “t” (tiempo), una curva característica ante las condiciones que se determinen para cada ensayo tipo.

NOTA 2: El factor F_2 es una aproximación del rendimiento η_0 , resultado de sustituir F_1 tal como se explica en la nota 2 de dicho factor.

5.3. COMITÉ EUROPEO DE INVESTIGACIÓN SOBRE LA COCINA SOLAR. PRUEBA ESTÁNDAR (ECSCR)

Conocidos los puntos de vista tanto de la norma americana como de la india, falta por exponer el método de ensayo desarrollado en Europa.

El estándar propuesto por el Comité Europeo de Investigación sobre la cocina solar (ECSCR) da un paso más adelante a la hora de conocer el alcance de estudio de estos dispositivos. Esta norma tiene un alcance más amplio que los ensayos expuestos hasta ahora, gran parte de su estudio se centra en la observación de ciertos factores que hasta este momento no habían sido tenidos en cuenta a la hora de calcular eficiencia energética de cada cocina.

Los nuevos factores que se deben estudiar van desde la seguridad del propio dispositivo hasta su facilidad de uso, pasando por su durabilidad o la relación coste / amortización. Muchos de estos factores pueden ser considerados como subjetivos, pero son de gran ayuda a la hora de realizar una comparativa eficaz entre cocinas solares encuadradas en diferentes grupos de funcionamiento (concentración / acumulación).

El proceso de evaluación de los dispositivos solares que sigue la norma gira en torno a las hojas de datos obtenidas, de forma detallada, por el responsable del estudio. La toma de datos forma parte, junto a los datos adicionales proporcionados por el fabricante de la cocina (en el caso que así sea), de la denominada “Prueba base” de este ensayo.

Esta “Prueba base”, según el Comité Europeo de Investigación, debe realizarse en torno a las horas del medio día solar, obteniendo así valores de radiación máximos, en condiciones meteorológicas óptimas. Todo el ensayo va a constar de los siguientes cinco apartados, ante diferentes condiciones y líquidos de estudio.

Apartado 1:

- Calentar **agua** en la cocina desde una temperatura inicial de 40 °C hasta su temperatura de ebullición, o de estancamiento en su defecto. La cocina debe haber sido orientada hacia el sol antes del ensayo para su precalentamiento. Recipiente tapado.
- Una vez alcanzado uno de los dos estados anteriores, desorientar la cocina de la incidencia directa de los rayos solares (girándola) y dejar enfriar hasta 80 °C.

Apartado 2:

- Calentar **aceite** en la cocina desde una temperatura inicial de 40 °C hasta su temperatura de estancamiento. La cocina debe haber sido orientada hacia el sol antes del ensayo para su precalentamiento. Recipiente destapado.
- Con el mismo aceite, desorientar la cocina de la incidencia directa de los rayos solares (girándola) y dejar enfriar hasta 100 °C.

Apartado 3:

- Repetir el **apartado 1** sin precalentar la cocina.

Apartado 4:

- Repetir el **apartado 1** con el recipiente de agua destapado.

Apartado 5:

- Repetir el **apartado 1** colocando la cocina en un ángulo de incidencia menor respecto al de máxima radiación solar. Esta prueba caracteriza el rendimiento de la cocina en condiciones de mañana o tarde.

Los cinco apartados anteriormente numerados son los principales ensayos que pueden ser recogidos dentro de la norma, pero no por ello ser los únicos. Podemos realizar otras combinaciones que nos den otros datos distintos, siempre y cuando se vea que los datos obtenidos nos pueden ayudar a caracterizar el rendimiento de la cocina sujeta a estudio.

Para la realización de cualquiera de las pruebas anteriores debemos tener en cuenta que las condiciones atmosféricas sean las propicias para obtener así datos válidos y que no estén afectados por agentes externos al ensayo. Estas condiciones deben estar encuadradas dentro de los siguientes intervalos:

- Temperatura ambiente entre 25 y 35 °C
- Velocidad del viento menor de 4 m/s.
- Radiación solar global (superficie horizontal) mayor de 800 W/m².

Esta norma se presenta como una herramienta muy útil en el campo de la comparativa entre la totalidad de las cocinas solares (todas ellas en las mismas condiciones climatológicas), puesto que es de fácil realización y entendimiento gracias a la toma y estudio de los diferentes intervalos de tiempo. En definitiva, nos da resultados muy tangibles de cómo se comportan unas cocinas frente a otras.

Paralelamente al campo de la comparativa, esta norma presenta ciertos vacíos que hacen de ella una herramienta no válida a la hora de cruzar resultados de diferentes días (ante diferentes condiciones climatológicas), puesto que no se tienen en cuenta factores como la **radiación** o la **temperatura ambiente** que rodea a la cocina durante su funcionamiento.

Estos factores son de vital interés para conocer la eficiencia que presenta nuestra cocina en un día determinado, y ser capaces de comparar, en función de cómo varían dichos valores, cualquier cocina que haya sido estudiada en cualquier otro momento dado.

5.4. DESARROLLO DE UN MODELO CERO-DIMENSIONAL

El desarrollo del modelo que a continuación se expone es un estudio realizado por **Don Antonio Lecuona Neumann**, profesor de la Universidad Carlos III de Madrid. El propio autor de este trabajo ha facilitado su contenido íntegro para poder realizar todo el estudio de simulación y caracterización experimental de la cocina objeto de este proyecto.

El modelo *cero-dimensional* necesita fijar unas hipótesis de trabajo las cuales ayudan a unificar los criterios de estudio de esta norma, con el fin de que todos los estudios presenten una base común hacia su posterior comparación.

- El alimento que se encuentra en el interior de la olla, ya sea líquido o sólido, se considerará de temperatura y masa uniforme en todo su interior y con un calor específico cercano al del agua. Paralelamente se tendrá en cuenta también la masa y el calor específico del recipiente de cocción.

$$C = c_w \cdot m_w + c_{recip} \cdot m_{recip}$$

- La **intensidad** de la radiación solar estará compuesta por sus componentes *directa*, *difusa*, y *reflejada*; debiendo tener en cuenta para cada prueba si todas ellas están presentes. Por norma general y si no se especifica lo contrario a la hora de realizar los cálculos numéricos del rendimiento de la cocina, la radiación solar con la que se va a trabajar va a ser la radiación sobre el **plano horizontal**. En caso que se especifique, como en este caso con la cocina parabólica, se tendrá en cuenta la radiación sobre el plano de la cocina normal a los rayos solares incidentes (como se ha explicado en el apartado “**4.2. Diseño y posición respecto al sol**”, la cocina parabólica necesita de una continua orientación respecto al sol, ya que trabaja únicamente con la radiación directa, por ello necesitamos la superficie inclinada del dispositivo para realizar los cálculos posteriores).

En el caso de que por unificar los criterios tanto de medida como de cálculo se realizaran todos ellos respecto a la radiación horizontal, no se obtendrían resultados muy dispares, puesto que la relación entre las áreas horizontal-normal a los rayos esta cercana al 1 en los meses de verano (cuando se realiza los ensayos). No sería así en los meses de invierno, pero estos meses no nos interesan, ya que no son válidos para realizar la caracterización de la cocina.

- La **eficiencia óptica** de captación de los rayos solares, η_0 , va a ser función de la transmisividad, combinada de la superficie de la cocina y de la olla, y la absorptancia de esta última. Este valor de eficiencia se puede calcular de forma teórica con los parámetros anteriormente nombrados, mediante su producto; pero en este caso, la normativa nos permite obtener dicho valor de forma experimental.
- El valor de **temperatura ambiente** (T_a) presente en el modelo va a ser constante en cualquier punto de medición, para un momento dado, sin tener en cuenta la temperatura de radiación en las proximidades del recipiente de cocción. Esto no quiere decir que por ello las perdidas de radiación se desprecien, sino que simplemente y a modo simplificador, el ambiente va a ser constante en cualquier punto fuera del recipiente de la cocina en donde se realizan las mediciones.

Frente a intervalos de temperatura en un tiempo fijo, se tomará como temperatura ambiente la temperatura media entre los valores inicial y final del intervalo sujeto a estudio.

- Al igual que se conoce el valor del **área de apertura** (A_a) de la cocina, se debe fijar el valor del **área de recepción** (A) de la olla. En función de la cocina que se esté estudiando, y como ha pasado en el punto de la intensidad de la radiación, el área de recepción va a estar distribuido de distinta forma en unos y otros dispositivos.

Para la cocina parabólica, el área del recipiente que se presenta más crítico

va a ser su base, donde se sitúa el foco de la parábola, pero el resto del recipiente a su vez también recibe una radiación continua, aunque claro está, de menor intensidad. Con el fin de seguir unificando criterios para permitir realizar un estudio comparativo entre los distintos dispositivos de cocción lo más fiable posible, se tendrá en cuenta un área constante e igual para todos ellos. Esta área se aconseja que sea la totalidad del área exterior del recipiente.

- Unido al valor del área exterior del recipiente (A) se especifica también el **coeficiente global de transferencia de calor** (U). Una vez fijado el valor del área, el valor de U irá siempre invariable en función del primero, así se puede decir que las variables “ AU ” son, a modo de cálculo, inseparables.

Junto con ambos valores, es necesario acompañar un factor que se denomina como el coeficiente F' , el cual hace referencia a la relación de convección entre el alimento y las paredes interiores del recipiente que lo contiene.

Una vez asentadas las hipótesis de estudio que rodean a este modelo *cero-dimensional*, se pasa a ver cuáles son los fundamentos prácticos que nos permiten obtener los valores característicos de nuestra cocina solar.

Con ayuda del “*Incropera*” o el “*Duffie & Beckmann*” y en base a los cálculos de balance de energía, se consiguen despejar ciertas variables que permiten caracterizar los dispositivos. Estas variables, las cuales se han desarrollado de forma teórica en los puntos anteriores, son despejadas de las expresiones de **potencia de calentamiento** o de **curva de enfriamiento**, en las cuales están presentes.

Potencia de calentamiento

La potencia de calentamiento se va a denominar como la “cantidad de energía transferida por unidad de tiempo”, la cual se va a traducir en incrementos de temperaturas sobre el dispositivo que la recibe.

$$Q_p = C \frac{dT}{dt}$$

$$Q_p = A \cdot I \cdot \eta_0 - AUF'(T - T_a)$$

En nuestro caso, la olla va a ser la que reciba esta potencia como resultado de la concentración de los rayos incidentes sobre un punto común. Esta energía extra va a ser mayor cuanto mayor sean los incrementos de temperatura en un intervalo dado.

Las cocinas solares no van a ser menos en este apartado, pues no dan valores de potencia constantes, sino que dicha potencia va a ser menor cuanto mayor sea la temperatura que presenta nuestro recipiente de estudio. Aquí es cuando entra la denominada **temperatura de estancamiento** (T_{st}), aquella temperatura la cual es máxima y característica de cada dispositivo de cocción y a partir de la cual los incrementos de temperatura son nulos.

En este punto, cuando el recipiente de la cocina alcanza su máximo valor de temperatura (temperatura de estancamiento), la potencia de calentamiento desciende por efecto de las pérdidas hasta que su valor llega a ser nulo.

$$Q = \frac{dT}{dt} \approx 0$$

$$I \cdot A_a \cdot \eta_0 = AUF'(T_{st} - T_a)$$

De la ecuación anterior, los únicos valores que a priori no conocemos y no podemos obtener de forma directa son los de UF' y η_0 . Mediante la curva de enfriamiento podremos obtener el primero de ellos acompañado del valor constante del área del recipiente (cuyo criterio ha sido fijado en las hipótesis de trabajo).

NOTA:

Aunque el valor de UF' se tome inicialmente como una unidad inseparable a la hora de facilitar los cálculos del tiempo de enfriamiento y el rendimiento óptico, una vez se conozcan los valores que alcanzan tanto este rendimiento (η_0) como el coeficiente global de transferencia de calor (U) que lo acompaña, se puede despejar el valor del factor F' .

$$F' = \frac{C \frac{dT}{dt}}{A(I \cdot \eta_0 - U(T - T_a))}$$

Se tiene que tener en cuenta que dicho factor anteriormente descrito siempre va a alcanzar un valor que será menor o, en el mejor de los casos, cercano a la unidad, nunca mayor.

Curva de enfriamiento

La curva de enfriamiento se va a desarrollar desde una perspectiva diferente a la que hasta ahora se ha venido viendo, puesto que no vamos a estudiar el comportamiento del recipiente dentro de nuestra cocina solar, sino que vamos a obtener su capacidad de retener el calor (obtenido hasta ese momento en nuestra propia cocina) cuando se encuentra totalmente a la sombra.

Lo primero que hay que fijar son las variables que rodean a nuestro recipiente en dichas circunstancias. Al encontrarse a la sombra, la radiación incidente va a ser nula ($I=0$) y la temperatura ambiente será constante, al igual que los valores de AUF' en cada intervalo.

$$C \frac{dT}{dt} = A \cdot I \cdot \eta_g - AUF'(T - T_a)$$

Donde:

$$\frac{C}{AUF'} = t_0$$

Con esto, se pasa a integrar la ecuación inicial (partiendo de una temperatura inicial T_0 en $t=0$ hasta una temperatura T_1), lo que nos va a dar como resultado la relación existente entre los intervalos de temperaturas de bajada con el tiempo de enfriamiento t_0 :

$$\frac{T_1 - T_a}{T_0 - T_a} = e^{\left(-\frac{t}{t_0}\right)}$$

Con el valor de t_0 descrito anteriormente podemos seguir despejando variables, como el valor de AUF' . Este valor, aunque será constante para cada intervalo, dependerá del tiempo de enfriamiento recientemente calculado y de la masa y el calor específico de los materiales de cocción.

Eficiencia óptica

Siguiendo los pasos marcados por el punto anterior y obteniendo el tiempo de enfriamiento medio asociado a nuestra cocina solar, se pasa a calcular el último valor que realmente nos interesa para poder caracterizar nuestra cocina y encuadrarla dentro de un marco comparativo frente a otros dispositivos de cocción solar. Este factor es la eficiencia óptica.

En este caso, la eficiencia óptica requiere de unos valores de temperatura asociados a los intervalos de subida de la olla (a diferencia del cálculo del tiempo de enfriamiento), donde la cocina se encuentra trabajando directamente con los rayos incidentes sobre el dispositivo solar. Por este mismo motivo, también se tiene en cuenta el valor de la radiación sobre el dispositivo solar.

La manera de traducir las temperaturas obtenidas del ensayo realizado es mediante la siguiente ecuación, resultado de la integración del balance de energías entre dos instantes de tiempo.

$$(t_2 - t_1) = -t_0 \cdot \ln \left[\frac{1 - \frac{A}{A_a} \frac{UF'}{I\eta_0} (T_2 - T_a)}{1 - \frac{A}{A_a} \frac{UF'}{I\eta_0} (T_1 - T_a)} \right]$$

Donde de manera simplificada y despejando el valor que realmente se desea calcular (η_0) la ecuación definitiva toma la siguiente forma

$$\eta_0 = \frac{C}{A_a \cdot I \cdot t_0} \left[\frac{(T_2 - T_a) - (T_1 - T_a) \cdot e^{\left(\frac{t_2 - t_1}{t_0}\right)}}{1 - e^{\left(\frac{t_2 - t_1}{t_0}\right)}} \right]$$

La eficiencia óptica, en resumidas cuentas, va a ser el parámetro a estudiar y comparar de todo lo calculado anteriormente por este modelo “cero-dimensional”.

6. DATOS EXTRAIDOS DE LAS MEDICIONES

En este apartado, el de la recopilación de datos, se van a mostrar todos los valores obtenidos de los diferentes parámetros necesarios para el estudio de caracterización de la cocina. Toda esta recopilación se ha realizado en base a las pautas fijadas por el **Comité Europeo de Investigación sobre Cocina Solar (ECSCR)** y la totalidad de los ensayos han sido realizados en la misma localización, Universidad Carlos III de Leganés (Latitud: 40°33'4 N; Longitud: -3°7'6 E) (*Fuente: Google Maps*).

Todos estos parámetros corresponderán a cada uno de los días que se ha realizado el estudio para la posterior caracterización de la cocina. Todos estos parámetros han debido ser fijados entre las horas del **medio día solar** (11:00-13:00 horas), que corresponden a las 13:00-15:00 hora local, donde el punto de mayor radiación corresponde a las 14:00 horas. Esto es para obtener los máximos valores de radiación solar, que se obtienen, como no, cuando el Sol se encuentra en su punto más elevado.

Debido a la imposibilidad de realizar los estudios hasta dichas horas por tener ajustarnos a los horarios de la universidad, los datos recogidos se han tenido que adelantar una hora, entre las 12:00-14:00 hora solar. Aún así, al presentar el pico de mayor radiación sobre las 14:00 horas, los intervalos de 13:00-14:00 y 14:00-15:00 horas van a presentar unos valores más que semejantes (aunque en orden inverso), por lo que la cocina se presentaría unos tiempos y temperaturas muy parecidos. Al empezar los ensayos a las 12:00 horas, podemos ver cómo se comporta la cocina ante una intensidad de radiación menor, y si los tiempos que presenta son verdaderamente significativos o por el contrario no influye tanto la radiación directa sobre nuestra cocina solar.

Para ver lo que varía esa diferencia horaria de adelantar todo 60 minutos, se ha realizado la medición de datos, a su vez, en dos intervalos, de 12:00 a 13:00 y de 13:00 a 14:00 horas, para observar la diferencia que habría entre ellas. Queda claro que esta estimación no se puede considerar lineal, puesto que, como ya se sabe, la radiación tiende a estabilizarse cuando va llegando a su punto de máxima altura hasta que seguidamente empieza a descender; pero con estos intervalos nos es más que suficiente para poder conocer cómo afecta la variación de radiación a

nuestra cocina solar.

Las tablas adjuntas muestran los valores de la **temperatura ambiente** y **radiación solar**, aparte de la velocidad media del viento y la humedad relativa. De estos parámetros los dos primeros serán los que necesitemos para llevar a cabo la caracterización de la cocina. En cada una de las tablas, los datos están repartidos en intervalos de 10 minutos, donde los valores en cada uno de ellos hacen referencia al estado de ambiente que se da en ese momento puntual.

Todo esto parte de la base de que para un intervalo de 10 minutos, las variaciones atmosféricas no pueden ser muy significativas respecto al instante de tiempo inmediatamente anterior siempre y cuando nos encontremos en condiciones normales. Estas condiciones se verán seriamente afectadas por otros elementos tales como nubes.

Los valores de dichas tablas, las cuales corresponden a cada uno de los días en los que se ha estudiado el comportamiento de la cocina, han sido obtenidos mediante los dispositivos de medición de la instalación meteorológica de la Universidad Carlos III, como se expone en el apartado “2.2.1.3. Instrumentos de medida” y donde se puede ver gráficamente en la “Figura 2.14.”.

Los valores de temperatura registrados sobre la cocina han sido obtenidos mediante un multímetro digital facilitado por el departamento de térmica de la universidad (ver Anexos) y en el cual se puede observar la temperatura gracias a un termopar conectado al aparato de medición, el cual muestra, de forma ininterrumpida, el valor que registra el extremo de dicho termopar.

Todos los reportes que a continuación se muestran han sido facilitados al proyecto por el *profesor Don Antonio Lecuona Neumann* y, en mayor medida, por la *doctora Doña María del Carmen Rodríguez Hidalgo*.

6.1. HOJAS DE DATOS

Contenido de las tablas

Antes de mostrar las tablas, paso a explicar los diversos elementos y simbologías que la forman.

Los intervalos de tiempo y horas de medición ya han sido explicados en el apartado anterior, por lo que su contenido se da por aclarado.

La velocidad del viento también juega un papel importante a la hora de obtener los resultados de ensayo de nuestra cocina solar. Inicialmente porque al existir un cierto viento, siempre va a aumentar el coeficiente de transferencia de calor (U), puesto que la incidencia del viento sobre las paredes de la olla va a provocar un aumento de la radiación y de la transferencia de calor al ambiente.

Partiendo de esta premisa, de que el viento afecta al comportamiento térmico de la cocina, los ensayos se van a ver limitados por el valor absoluto del viento en el momento exacto de la toma de datos, y nos indicará si las mediciones realizadas en ese día son apropiadas o si por el contrario, los resultados obtenidos pueden estar influenciados de forma negativa por un alto valor de la velocidad del viento. A parte de la radicación de la olla con el ambiente, la inestabilidad y el movimiento que su acción provoca sobre la cocina no deja mantener fijo el foco de calor del dispositivo solar.

Como nos fija la norma europea ECSCR, la velocidad de este viento, para obtener unos datos de estudio válidos y en ningún momento falseados, debe ser menor de **4 m/s**.

La humedad relativa del ambiente no nos afecta en ningún momento sobre nuestro dispositivo de cocción. A parte, los valores presentes en cada uno de los días van a seguir, en mayor o menor medida, una misma tendencia en su comportamiento, puesto que la meteorología en los días en verano es muy estable.

La radiación facilitada por la estación meteorológica de la universidad nos

aporta radiación en el plano horizontal e inclinado. Su valor corresponderá a la radiación global incidente. A parte de conocer sus valores absolutos, tendremos que conocer **con que tipo de radiación trabaja nuestra cocina**, cuyo apartado queda especificado justo después de las tablas de ensayo.

Las tablas que a continuación se muestran van a tener todas sus unidades según el S.I.

| Hora local oficial | Velocidad viento | Temperatura ambiente | Humedad relativa | Radiación a 40° | Radiación horizontal |
|--------------------|------------------|----------------------|------------------|------------------|----------------------|
| hora:minuto | m/seg | °C | % | W/m ² | W/m ² |

Por último, en la columna en la que se especifica la **temperatura de la cocina**, a parte del valor absoluto que corresponde a cada intervalo de tiempo, aparecen sombreadas las diferentes casillas en función del tipo de ensayo que se está realizando a cada momento.

Así podemos diferenciar cuatro colores diferentes:

- **Azul:** Recipiente lleno de agua hasta la mitad de su altura interior (1750 ml.) y con la tapa del recipiente puesta.
- **Verde:** Recipiente lleno de agua hasta la mitad de su altura interior (1750 ml.) y destapado.
- **Morado:** Recipiente vacío donde el termopar se sitúa en la base interior del recipiente y aislado del ambiente.
- **Amarillo:** Recipiente lleno con 250 ml. de aceite de girasol y destapado.

Este mismo criterio de colores se seguirá de aquí en adelante para representar la evolución térmica sobre las tablas las cuales irán en función de la radiación incidente.

Tabla día 17/06/2009:

| Hora local | Velocidad viento | Temperatura ambiente | Humedad relativa | Radiación a 40° | Radiación horizontal | Temperatura en el recipiente |
|------------|------------------|----------------------|------------------|-----------------|----------------------|------------------------------|
| 11:00 | 1,61 | 23,64 | 55,02 | 537,08 | 549,43 | |
| 11:10 | 1,74 | 23,03 | 56,38 | 529,43 | 531,72 | |
| 11:20 | 1,78 | 23,20 | 56,62 | 513,67 | 506,93 | |
| 11:30 | 1,42 | 23,28 | 56,42 | 627,07 | 622,68 | 40 |
| 11:40 | 1,88 | 23,24 | 56,14 | 669,65 | 661,90 | 76 |
| 11:50 | 1,26 | 23,53 | 56,19 | 704,59 | 699,54 | 97 |
| 12:00 | 1,41 | 24,23 | 54,55 | 829,07 | 824,55 | 97 |
| 12:10 | 1,56 | 24,05 | 53,64 | 835,25 | 832,33 | 83 |
| 12:20 | 1,38 | 24,62 | 52,16 | 840,55 | 838,07 | 72 |
| 12:30 | 1,30 | 24,61 | 52,35 | 868,88 | 863,67 | 64 |
| 12:40 | 1,25 | 25,08 | 50,53 | 845,04 | 833,54 | 59 |
| 12:50 | 1,41 | 25,54 | 49,03 | 923,14 | 913,96 | 54 |
| 13:00 | 1,78 | 25,42 | 49,62 | 930,48 | 925,65 | 49 |
| 13:10 | 0,82 | 25,55 | 48,57 | 926,62 | 923,37 | 45 |
| 13:20 | 0,91 | 26,51 | 46,89 | 908,59 | 904,90 | 42 |
| 13:30 | 1,89 | 26,36 | 46,92 | 904,32 | 896,38 | 40 |
| 13:40 | 1,43 | 27,01 | 45,58 | 943,66 | 936,74 | 73 |
| 13:50 | 1,29 | 27,52 | 43,61 | 946,92 | 942,91 | 88 |
| 14:00 | 0,97 | 28,31 | 41,96 | 937,43 | 937,03 | 92 |
| 14:10 | 1,78 | 28,35 | 40,79 | 941,77 | 951,21 | 92 |
| 14:20 | 1,09 | 28,85 | 40,13 | 923,53 | 944,21 | |
| 14:30 | 0,86 | 29,13 | 39,05 | 906,64 | 933,40 | |
| 14:40 | 1,26 | 28,92 | 38,66 | 875,62 | 911,17 | |
| 14:50 | 1,17 | 29,87 | 34,18 | 897,36 | 946,12 | |
| 15:00 | 1,67 | 29,82 | 32,63 | 882,34 | 937,22 | |

NOTA 1: La zona sombreada en **azul** muestra la subida térmica desde 40 °C hasta 97 °C (12:00 horas) y la bajada desde dicha temperatura hasta 40 °C (13:30 horas) con el recipiente tapado y a la sombra.

NOTA 2: Con el mismo recipiente y la misma temperatura con la que termina el ensayo anterior, 40 °C, la zona sombreada en **verde** muestra la subida térmica hasta 92 °C (14:00 horas) con el recipiente destapado.

El ensayo corresponde al primer día de medidas en el cual se empezó a tomar contacto con la cocina, es por ello que, aunque las medidas son tomadas de forma correcta, puede ser que no sean las más óptimas posibles debido a que la cocina no se encontrara orientada de forma correcta.

Tabla día 18/06/2009:

| Hora local | Velocidad viento | Temperatura ambiente | Humedad relativa | Radiación a 40° | Radiación horizontal | Temperatura en el recipiente |
|------------|------------------|----------------------|------------------|-----------------|----------------------|------------------------------|
| 11:20 | 2,23 | 27,61 | 35,93 | 688,80 | 715,49 | |
| 11:30 | 2,71 | 27,40 | 36,20 | 704,50 | 724,40 | |
| 11:40 | 2,71 | 27,67 | 36,11 | 738,99 | 754,40 | 40 |
| 11:50 | 2,57 | 28,47 | 33,08 | 767,04 | 779,03 | 68 |
| 12:00 | 2,54 | 28,61 | 32,23 | 764,87 | 771,54 | 82 |
| 12:10 | 2,51 | 28,98 | 31,80 | 816,70 | 825,18 | 89 |
| 12:20 | 1,96 | 29,59 | 30,70 | 734,66 | 735,87 | 84 |
| 12:30 | 1,73 | 29,62 | 30,35 | 605,15 | 630,64 | 56 |
| 12:40 | 2,01 | 29,74 | 29,79 | 857,26 | 886,88 | 43 |
| 12:50 | 1,71 | 30,48 | 29,13 | 858,55 | 876,27 | 37 |
| 13:00 | 1,37 | 30,90 | 28,23 | 864,71 | 879,19 | 40 |
| 13:10 | 1,90 | 30,86 | 28,27 | 876,76 | 888,89 | 92 |
| 13:20 | 1,59 | 31,12 | 27,65 | 886,44 | 897,54 | 97 |
| 13:30 | 1,57 | 31,65 | 26,56 | 899,41 | 912,14 | 97 |
| 13:40 | 0,77 | 32,11 | 25,48 | 898,80 | 912,19 | 85 |
| 13:50 | 0,96 | 33,14 | 24,20 | 900,75 | 913,81 | 73 |
| 14:00 | 1,66 | 32,78 | 23,61 | 905,88 | 918,49 | 64 |
| 14:10 | 1,86 | 33,01 | 23,01 | 903,29 | 922,85 | 59 |

NOTA 1: La zona sombreada en **verde** muestra la subida térmica desde 40 °C hasta 84 °C (12:20 horas) y la bajada desde dicha temperatura hasta 37 °C (13:30 horas) con el recipiente destapado y a la sombra. Este ensayo muestra datos erróneos en las temperaturas debido a una ligera nubosidad presente en el momento de la toma de datos. Entre las 12:10 horas (donde se alcanza la temperatura máxima del ensayo) y las 12:30 horas se puede apreciar un descenso de la radiación incidente debido a este fenómeno. No afecta así a las temperaturas de bajada por estar en la sombra.

NOTA 2: Con el mismo recipiente y precalentando la temperatura del agua de la olla a 40 °C, la zona sombreada en **verde** muestra la subida térmica hasta 97 °C (13:20 horas) y la bajada desde dicha temperatura hasta 59 °C (14:10 horas) con el recipiente tapado y a la sombra. Debido a la imposibilidad de realizar mediciones más allá de las 14:00 horas, el ensayo de enfriamiento tuvo que ser interrumpido a los 59 °C anteriormente descritos.

Tabla día 08/07/2009:

| Hora local | Velocidad viento | Temperatura ambiente | Humedad relativa | Radiación a 40° | Radiación horizontal | Temperatura en el recipiente |
|------------|------------------|----------------------|------------------|-----------------|----------------------|------------------------------|
| 12:00 | 1,96 | 24,20 | 46,30 | 793,40 | 800,50 | 40 |
| 12:10 | 1,82 | 24,39 | 45,60 | 811,62 | 820,28 | 85 |
| 12:20 | 1,99 | 24,56 | 44,61 | 831,52 | 841,17 | 97 |
| 12:30 | 1,36 | 25,68 | 41,32 | 846,91 | 857,97 | 97 |
| 12:40 | 1,85 | 25,58 | 41,60 | 859,56 | 870,11 | 85 |
| 12:50 | 1,24 | 25,77 | 41,44 | 866,97 | 876,80 | 76 |
| 13:00 | 1,19 | 26,06 | 39,29 | 886,90 | 898,12 | 70 |
| 13:10 | 1,17 | 26,62 | 36,82 | 892,02 | 903,53 | 65 |
| 13:20 | 1,48 | 26,92 | 36,22 | 902,20 | 915,08 | 62 |
| 13:30 | 1,35 | 26,84 | 35,53 | 903,43 | 918,59 | 59 |
| 13:40 | 1,66 | 26,94 | 33,93 | 906,01 | 920,31 | 57 |
| 13:50 | 1,30 | 27,97 | 32,92 | 911,47 | 929,35 | 55 |
| 14:00 | 0,92 | 28,48 | 31,56 | 909,46 | 928,71 | 54 |
| 14:10 | 1,06 | 28,98 | 28,72 | 919,77 | 941,04 | |
| 14:20 | 0,69 | 29,49 | 26,62 | 918,02 | 939,94 | |
| 14:30 | 0,93 | 29,38 | 25,25 | 526,87 | 532,51 | |
| 14:40 | 1,59 | 29,82 | 22,15 | 891,86 | 927,45 | |
| 14:50 | 1,69 | 28,64 | 22,76 | 882,17 | 921,29 | |
| 15:00 | 1,62 | 29,72 | 21,75 | 882,71 | 930,09 | |

NOTA 1: La zona sombreada en **azul** muestra la subida térmica desde 40 °C hasta 97 °C (12:20 horas) y la bajada desde dicha temperatura hasta 54 °C (13:30 horas) con el recipiente tapado y aún sobre la misma base de la cocina, pero con el dispositivo desorientado del foco de concentración solar (cocina girada). Este ensayo nos muestra el calor residual que guarda el propio recipiente y la velocidad de bajada de su temperatura interior.

Debido a la imposibilidad de realizar mediciones más allá de las 14:00 horas, el ensayo de enfriamiento tuvo que ser interrumpido a los 54 °C.

Tabla día 09/07/2009:

| Hora local | Velocidad viento | Temperatura ambiente | Humedad relativa | Radiación a 40° | Radiación horizontal | Temperatura en el recipiente |
|------------|------------------|----------------------|------------------|-----------------|----------------------|------------------------------|
| 11:40 | 1,89 | 24,88 | 50,65 | 738,37 | 747,82 | |
| 11:50 | 1,31 | 25,41 | 48,71 | 757,70 | 765,01 | |
| 12:00 | 2,13 | 25,38 | 48,68 | 784,54 | 789,31 | 40 |
| 12:10 | 1,08 | 25,90 | 46,30 | 801,33 | 807,25 | 74 |
| 12:20 | 1,13 | 26,40 | 44,52 | 816,44 | 821,38 | 88 |
| 12:30 | 0,93 | 27,13 | 42,08 | 831,86 | 839,01 | 92 |
| 12:40 | 1,63 | 26,92 | 41,93 | 845,54 | 850,33 | 92 |
| 12:50 | 1,18 | 27,46 | 39,39 | 864,15 | 873,74 | 63 |
| 13:00 | 1,19 | 28,19 | 35,29 | 879,16 | 890,33 | 51 |
| 13:10 | 1,00 | 28,07 | 34,78 | 886,15 | 896,44 | 44 |
| 13:20 | 0,97 | 28,76 | 31,99 | 888,51 | 897,95 | 40 |
| 13:30 | 1,05 | 28,72 | 32,66 | 883,03 | 892,22 | |
| 13:40 | 0,99 | 29,68 | 31,49 | 882,40 | 897,17 | |
| 13:50 | 1,68 | 29,61 | 28,71 | 914,09 | 929,97 | |
| 14:00 | 1,29 | 30,09 | 27,38 | 923,57 | 941,16 | |
| 14:10 | 1,61 | 30,53 | 24,55 | 938,16 | 956,40 | |
| 14:20 | 1,31 | 30,93 | 24,01 | 968,47 | 992,75 | |
| 14:30 | 1,74 | 30,83 | 24,48 | 947,82 | 974,82 | |
| 14:40 | 2,23 | 30,71 | 22,65 | 935,85 | 967,33 | |
| 14:50 | 2,27 | 31,10 | 20,04 | 934,35 | 966,98 | |
| 15:00 | 2,07 | 30,92 | 21,24 | 751,94 | 781,32 | |

NOTA 1: La zona sombreada en **verde** muestra la subida térmica desde 40 °C hasta 92 °C (12:30 horas) y la bajada desde dicha temperatura hasta 40 °C (13:20 horas) con el recipiente destapado y aún sobre la misma base de la cocina, pero con el dispositivo desorientado del foco de concentración solar (cocina girada). Este ensayo nos muestra el calor residual que guarda el propio recipiente y la velocidad de bajada de su temperatura interior.

Tabla día 16/07/2009:

| Hora local | Velocidad viento | Temperatura ambiente | Humedad relativa | Radiación a 40° | Radiación horizontal | Temperatura en el recipiente |
|------------|------------------|----------------------|------------------|-----------------|----------------------|------------------------------|
| 12:10 | 1,29 | 28,39 | 31,60 | 808,99 | 803,33 | 40 |
| 12:20 | 0,83 | 28,66 | 29,96 | 813,94 | 813,35 | 84 |
| 12:30 | 0,99 | 29,29 | 26,84 | 838,82 | 841,91 | 97 |
| 12:40 | 1,52 | 29,66 | 22,55 | 867,19 | 870,91 | 97 |
| 12:50 | 1,93 | 29,77 | 22,38 | 877,78 | 883,99 | |
| 13:00 | 2,13 | 29,78 | 21,06 | 895,91 | 904,03 | 40 |
| 13:10 | 1,51 | 29,96 | 20,09 | 901,64 | 910,81 | 78 |
| 13:20 | 2,29 | 30,36 | 18,16 | 922,33 | 933,97 | 90 |
| 13:30 | 3,29 | 30,68 | 15,03 | 935,56 | 951,74 | 92 |
| 13:40 | 2,42 | 30,87 | 14,56 | 936,94 | 955,08 | 92 |
| 13:50 | 3,41 | 30,96 | 13,65 | 944,67 | 966,09 | 92 |
| 14:00 | 2,69 | 31,37 | 13,41 | 936,44 | 959,64 | 92 |
| 14:10 | 2,55 | 31,84 | 12,79 | 937,89 | 963,08 | |
| 14:20 | 2,80 | 32,14 | 12,15 | 936,46 | 965,38 | |
| 14:30 | 2,16 | 32,03 | 12,04 | 929,84 | 963,35 | |
| 14:40 | 2,74 | 32,29 | 11,99 | 924,54 | 961,52 | |
| 14:50 | 2,66 | 32,38 | 11,92 | 912,19 | 955,95 | |
| 15:00 | 2,89 | 32,50 | 10,94 | 908,17 | 958,41 | |

NOTA 1: La zona sombreada en **azul** muestra la subida térmica desde 40 °C hasta 97 °C (12:40 horas) con el recipiente tapado.

NOTA 2: Con el mismo recipiente, la zona sombreada en **verde** muestra la subida térmica desde 40 °C hasta 92 °C (13:30 horas) con el recipiente destapado.

Tabla día 17/07/2009:

| Hora local | Velocidad viento | Temperatura ambiente | Humedad relativa | Radiación a 40° | Radiación horizontal | Temperatura en el recipiente |
|------------|------------------|----------------------|------------------|-----------------|----------------------|------------------------------|
| 12:00 | 2,67 | 23,47 | 25,81 | 825,15 | 824,24 | 40 |
| 12:10 | 2,91 | 23,31 | 24,81 | 844,46 | 841,15 | 74 |
| 12:20 | 2,98 | 23,17 | 19,61 | 870,11 | 869,18 | 88 |
| 12:30 | 3,14 | 23,28 | 22,61 | 881,16 | 881,50 | 92 |
| 12:40 | 2,96 | 23,86 | 23,56 | 893,35 | 895,13 | 92 |
| 12:50 | 3,10 | 23,88 | 23,22 | 905,39 | 908,91 | |
| 13:00 | 2,98 | 24,48 | 22,88 | 915,98 | 919,12 | 40 |
| 13:10 | 3,36 | 24,05 | 24,53 | 925,52 | 927,67 | 208 |
| 13:20 | 3,39 | 24,17 | 23,92 | 936,17 | 939,95 | 221 |
| 13:30 | 3,55 | 24,35 | 23,46 | 941,68 | 948,46 | 215 |
| 13:40 | 3,53 | 24,61 | 23,14 | 947,11 | 956,30 | 215 |
| 13:50 | 3,56 | 24,26 | 22,18 | 948,82 | 959,82 | |
| 14:00 | 3,60 | 24,21 | 23,46 | 954,86 | 969,52 | |
| 14:10 | 3,23 | 24,62 | 23,22 | 952,29 | 971,48 | |
| 14:20 | 3,12 | 24,69 | 22,59 | 948,31 | 970,29 | |
| 14:30 | 2,96 | 25,25 | 21,82 | 938,83 | 965,36 | |
| 14:40 | 3,77 | 25,31 | 20,74 | 932,63 | 964,97 | |
| 14:50 | 2,79 | 25,21 | 20,00 | 924,19 | 962,21 | |
| 15:00 | 4,48 | 25,14 | 20,96 | 917,43 | 958,20 | |

NOTA 1: La zona sombreada en **verde** muestra la subida térmica desde 40 °C hasta 92 °C (12:30 horas) con el recipiente destapado.

NOTA 2: La zona sombreada en **morado** muestra la subida térmica desde 40 °C hasta 221 °C (13:20 horas) con el recipiente destapado. Este ensayo, en el que el recipiente se encuentra vacío, necesita de un aislante térmico para que el termopar, que se sitúa en la base interior de la olla, no se vea afectada por la radiación al ambiente y registre únicamente la temperatura del recipiente donde incide el foco. La variación final de temperatura se da debido al aislante. Este aislante presenta una

parte adhesiva en una de sus caras, para que quede fijo y evitar pérdidas por los laterales, pero después de un cierto tiempo de exposición a altas temperaturas, esa parte adhesiva se deteriora y sufre quemaduras que le impiden funcionar con normalidad, se ahueca y permite el paso de aire a temperatura ambiente a través de sus laterales. Aunque el termopar sigue registrando la temperatura de la base, la circulación de aire a temperatura ambiente a través de él provoca el pequeño descenso térmico que se puede apreciar en la tabla.

Tabla día 23/07/2009:

| Hora local | Velocidad viento | Temperatura ambiente | Humedad relativa | Radiación a 40º | Radiación horizontal | Temperatura en el recipiente |
|------------|------------------|----------------------|------------------|-----------------|----------------------|------------------------------|
| 12:00 | 4,97 | 21,74 | 54,75 | 846,90 | 831,08 | |
| 12:10 | 4,52 | 22,12 | 52,45 | 875,49 | 853,12 | |
| 12:20 | 4,98 | 22,25 | 50,99 | 883,07 | 866,54 | |
| 12:30 | 4,56 | 22,43 | 49,47 | 904,24 | 886,75 | |
| 12:40 | 4,52 | 22,64 | 49,01 | 926,32 | 906,09 | |
| 12:50 | 4,40 | 22,91 | 48,08 | 987,64 | 957,89 | |
| 13:00 | 5,35 | 22,92 | 47,99 | 946,32 | 910,74 | |
| 13:10 | 4,48 | 23,21 | 47,39 | 915,26 | 891,24 | |
| 13:20 | 4,96 | 23,18 | 47,10 | 774,85 | 752,85 | |
| 13:30 | 4,14 | 23,76 | 45,47 | 822,01 | 815,10 | |
| 13:40 | 5,80 | 23,75 | 43,74 | 968,05 | 955,40 | |
| 13:50 | 4,04 | 24,19 | 41,34 | 936,72 | 929,08 | |
| 14:00 | 5,61 | 24,30 | 39,11 | 979,01 | 978,64 | |
| 14:10 | 4,97 | 24,33 | 36,44 | 980,04 | 985,14 | |
| 14:20 | 4,86 | 24,34 | 35,81 | 971,75 | 983,06 | |
| 14:30 | 3,93 | 25,07 | 32,97 | 966,69 | 983,08 | |
| 14:40 | 5,04 | 25,11 | 32,46 | 959,42 | 980,81 | |
| 14:50 | 4,49 | 25,36 | 31,69 | 950,51 | 978,59 | |
| 15:00 | 3,99 | 25,74 | 29,18 | 944,28 | 975,98 | |

En el apartado donde se ha comentado el contenido de las tablas, se ha hecho referencia a los intervalos dentro de los que tienen que estar encuadrado alguno de los datos para que la medición de la temperatura de la cocina se pueda hacer con normalidad y sea válida. A la hora de obtener los datos meteorológicos del día 23/07/2009, apreciamos que la velocidad del viento durante todo el tiempo en el que se puede realizar las mediciones del ensayo es mayor que **4m/s**, dato que según la norma europea ECSCR no puede superar por los motivos ya explicados en el apartado de la normativa, por lo que los ensayos realizados este día se consideran **no validos**.

Tabla día 24/07/2009:

| Hora local | Velocidad viento | Temperatura ambiente | Humedad relativa | Radiación a 40° | Radiación horizontal | Temperatura en el recipiente |
|------------|------------------|----------------------|------------------|-----------------|----------------------|------------------------------|
| 11:50 | 2,47 | 23,78 | 39,91 | 808,92 | 792,89 | |
| 12:00 | 3,56 | 23,67 | 39,48 | 832,39 | 814,43 | 40 |
| 12:10 | 3,03 | 23,91 | 37,33 | 851,61 | 830,73 | 73 |
| 12:20 | 3,05 | 24,15 | 34,76 | 872,32 | 852,43 | 86 |
| 12:30 | 2,77 | 24,25 | 33,42 | 891,95 | 874,65 | 92 |
| 12:40 | 2,08 | 24,46 | 32,98 | 906,77 | 891,37 | 92 |
| 12:50 | 2,35 | 24,92 | 30,82 | 922,10 | 907,85 | |
| 13:00 | 2,81 | 25,10 | 28,31 | 931,29 | 917,58 | 40 |
| 13:10 | 2,23 | 25,37 | 28,95 | 942,76 | 928,27 | 94 |
| 13:20 | 1,82 | 25,83 | 27,77 | 949,96 | 936,16 | 97 |
| 13:30 | 2,32 | 26,00 | 27,67 | 955,80 | 943,21 | |
| 13:40 | 2,95 | 25,68 | 26,70 | 965,10 | 954,14 | |
| 13:50 | 2,84 | 26,04 | 27,34 | 960,28 | 955,45 | |
| 14:00 | 2,83 | 26,60 | 25,92 | 963,86 | 962,28 | |
| 14:10 | 2,13 | 26,67 | 25,70 | 961,69 | 962,04 | |
| 14:20 | 2,74 | 26,91 | 25,17 | 958,45 | 960,31 | |
| 14:30 | 2,63 | 26,87 | 25,55 | 952,43 | 960,64 | |
| 14:40 | 2,75 | 27,32 | 23,72 | 948,66 | 959,65 | |
| 14:50 | 2,99 | 27,64 | 22,30 | 939,41 | 954,44 | |
| 15:00 | 2,39 | 27,58 | 22,13 | 926,91 | 949,56 | |

NOTA 1: La zona sombreada en **verde** muestra la subida térmica desde 40 °C hasta 92 °C (12:30 horas) con el recipiente destapado.

NOTA 2: Con el mismo recipiente, la zona sombreada en **azul** muestra la subida térmica desde 40 °C hasta 97 °C (13:10 horas) con el recipiente tapado.

Tabla día 29/07/2009:

| Hora local | Velocidad viento | Temperatura ambiente | Humedad relativa | Radiación a 40° | Radiación horizontal | Temperatura en el recipiente |
|------------|------------------|----------------------|------------------|-----------------|----------------------|------------------------------|
| 11:50 | 1,29 | 27,91 | 10,34 | 826,38 | 801,15 | |
| 12:00 | 1,12 | 28,02 | 10,99 | 849,17 | 823,04 | 40 |
| 12:10 | 1,52 | 28,72 | 11,23 | 867,58 | 840,95 | 202 |
| 12:15 | | | | | | 213 |
| 12:20 | 1,30 | 28,67 | 11,80 | 885,20 | 859,73 | 218 |
| 12:30 | 1,19 | 28,91 | 12,27 | 899,93 | 876,18 | 211 |
| 12:40 | 1,40 | 29,34 | 12,94 | 915,60 | 892,70 | 211 |
| 12:50 | 2,01 | 29,14 | 12,96 | 930,10 | 908,31 | |
| 13:00 | 0,83 | 29,45 | 13,26 | 940,80 | 920,18 | 40 |
| 13:10 | 0,91 | 29,97 | 13,05 | 954,51 | 932,88 | 76 |
| 13:20 | 1,68 | 29,67 | 13,00 | 965,36 | 947,34 | 88 |
| 13:30 | 1,43 | 30,02 | 12,72 | 973,25 | 956,12 | 92 |
| 13:40 | 1,29 | 30,29 | 12,04 | 976,16 | 962,08 | 92 |
| 13:50 | 0,99 | 30,74 | 11,46 | 976,54 | 964,56 | 92 |
| 14:00 | 1,54 | 30,71 | 11,42 | 978,80 | 970,09 | |

NOTA 1: La zona sombreada en **morado** muestra la subida térmica desde 40 °C hasta 220 °C (12:20 horas) con el recipiente destapado. Este ensayo, en el que el recipiente se encuentra vacío, necesita de un aislante térmico para que el termopar, que se sitúa en la base interior de la olla, no se vea afectada por la radiación al ambiente y registre únicamente la temperatura del recipiente donde incide el foco. La variación final de temperatura se da debido al aislante. Este aislante presenta una parte adhesiva en una de sus caras, para que quede fijo y evitar pérdidas por los laterales, pero después de un cierto tiempo de exposición a altas temperaturas, esa parte adhesiva se deteriora y sufre quemaduras que le impiden funcionar con normalidad, se ahueca y permite el paso de aire a temperatura ambiente a través de sus laterales. Aunque el termopar sigue registrando la temperatura de la base, la

circulación de aire a temperatura ambiente a través de él provoca el pequeño descenso térmico que se puede apreciar en la tabla (ver *figura 6.1.*).

NOTA 2: La zona sombreada en **verde** muestra la subida térmica desde 40 °C hasta 92 °C (13:30 horas) con el recipiente destapado.

Tabla día 30/07/2009:

| Hora local | Velocidad viento | Temperatura ambiente | Humedad relativa | Radiación a 40º | Radiación horizontal | Temperatura en el recipiente |
|------------|------------------|----------------------|------------------|-----------------|----------------------|------------------------------|
| 12:00 | 2,07 | 27,15 | 26,95 | 819,58 | 782,10 | 40 |
| 12:01 | | | | | | 47 |
| 12:02 | | | | | | 63 |
| 12:03 | | | | | | 82 |
| 12:04 | | | | | | 102 |
| 12:05 | | | | | | 118 |
| 12:06 | | | | | | 134 |
| 12:07 | | | | | | 143 |
| 12:08 | | | | | | 151 |
| 12:09 | | | | | | 157 |
| 12:10 | 1,44 | 27,47 | 26,48 | 840,91 | 802,82 | 164 |
| 12:11 | | | | | | 170 |
| 12:12 | | | | | | 176 |
| 12:13 | | | | | | 182 |
| 12:14 | | | | | | 188 |
| 12:15 | | | | | | 193 |
| 12:16 | | | | | | 197 |
| 12:17 | | | | | | 201 |
| 12:18 | | | | | | 205 |
| 12:19 | | | | | | 209 |
| 12:20 | 1,16 | 28,05 | 24,18 | 863,69 | 826,19 | 212 |
| 12:21 | | | | | | 215 |
| 12:22 | | | | | | 218 |
| 12:23 | | | | | | 221 |
| 12:24 | | | | | | 224 |
| 12:25 | | | | | | 226 |
| 12:26 | | | | | | 226 |
| 12:27 | | | | | | 226 |
| 12:28 | | | | | | 226 |
| 12:29 | | | | | | 226 |
| 12:30 | 0,95 | 27,98 | 23,43 | 882,80 | 844,78 | 226 |
| 12:40 | 0,97 | 28,75 | 21,81 | 897,51 | 859,51 | 226 |
| 12:50 | 0,70 | 28,94 | 21,93 | 906,56 | 870,10 | |
| 13:00 | 0,88 | 29,45 | 21,21 | 912,55 | 879,10 | 40 |
| 13:10 | 1,06 | 29,39 | 20,75 | 920,26 | 886,40 | 204 |
| 13:15 | | | | | | 215 |
| 13:20 | 1,41 | 29,45 | 20,85 | 930,95 | 900,04 | 220 |
| 13:30 | 2,01 | 29,78 | 20,25 | 944,29 | 919,09 | 217 |
| 13:40 | 0,82 | 29,47 | 19,98 | 945,54 | 918,57 | 217 |

NOTA 1: La zona sombreada en **amarillo** muestra la subida térmica desde 40 °C hasta 226 °C (12:25 horas) con el recipiente destapado. Este ensayo se realiza con 250 ml. de aceite de girasol, componente habitual en la cocina común, y que a parte de establecer cómo se comportaría la cocina a la hora de utilizar el aceite para freír alimentos, nos permite conocer la temperatura de estancamiento de nuestro dispositivo solar, dato necesario para poder caracterizar la cocina y obtener el rendimiento óptico de la misma.

El aceite, a diferencia del agua con la que se ha ensayado hasta ahora, nos permite conocer la temperatura de estancamiento gracias a que su punto de ebullición es más alto que la temperatura que alcanza la cocina.

NOTA 2: La zona sombreada en **morado** muestra la subida térmica desde 40 °C hasta 220 °C (13:20 horas) con el recipiente destapado. Este ensayo, en el que el recipiente se encuentra vacío, necesita de un aislante térmico para que el termopar, que se sitúa en la base interior de la olla, no se vea afectada por la radiación al ambiente y registre únicamente la temperatura del recipiente donde incide el foco. La variación final de temperatura se da debido al aislante. Este aislante presenta una parte adhesiva en una de sus caras, para que quede fijo y evitar pérdidas por los laterales, pero después de un cierto tiempo de exposición a altas temperaturas, esa parte adhesiva se deteriora y sufre quemaduras que le impiden funcionar con normalidad, se ahueca y permite el paso de aire a temperatura ambiente a través de sus laterales. Aunque el termopar sigue registrando la temperatura de la base, la circulación de aire a temperatura ambiente a través de él provoca el pequeño descenso térmico que se puede apreciar en la tabla (ver *figura 6.1.*).

Tabla día 31/07/2009:

| Hora local | Velocidad viento | Temperatura ambiente | Humedad relativa | Radiación a 40° | Radiación horizontal | Temperatura en el recipiente |
|------------|------------------|----------------------|------------------|-----------------|----------------------|------------------------------|
| 11:50 | 1,20 | 28,03 | 22,16 | 802,79 | 766,75 | |
| 12:00 | 1,41 | 28,20 | 22,68 | 826,49 | 788,16 | 40 |
| 12:10 | 1,17 | 29,06 | 21,37 | 848,35 | 809,47 | 167 |
| 12:20 | 1,38 | 29,35 | 21,08 | 870,94 | 833,29 | 214 |
| 12:30 | 1,68 | 29,48 | 20,60 | 890,71 | 854,65 | 226 |
| 12:40 | 1,49 | 29,91 | 19,39 | 904,91 | 871,40 | 226 |
| 12:50 | 1,67 | 30,33 | 18,39 | 921,54 | 887,86 | |
| 13:00 | 2,13 | 30,33 | 18,45 | 932,90 | 901,48 | 40 |
| 13:10 | 2,12 | 30,68 | 17,89 | 947,52 | 916,56 | 97 |
| 13:20 | 2,07 | 30,81 | 17,23 | 957,17 | 928,79 | 97 |
| 13:30 | 2,34 | 31,06 | 16,24 | 959,00 | 930,73 | 97 |
| 13:40 | 1,70 | 31,51 | 14,86 | 968,34 | 940,92 | |
| 13:50 | 2,40 | 31,19 | 14,08 | 977,82 | 955,30 | |
| 14:00 | 1,88 | 31,81 | 14,12 | 973,01 | 953,12 | |
| 14:10 | 2,14 | 31,95 | 13,81 | 976,40 | 958,67 | |
| 14:20 | 1,89 | 31,50 | 12,74 | 972,44 | 958,95 | |
| 14:30 | 2,52 | 31,94 | 13,71 | 969,56 | 962,58 | |
| 14:40 | 2,12 | 32,54 | 13,17 | 961,57 | 958,85 | |
| 14:50 | 2,64 | 32,42 | 12,66 | 951,98 | 958,00 | |
| 15:00 | 2,42 | 32,26 | 13,18 | 942,34 | 954,48 | |

NOTA 1: La zona sombreada en **amarillo** muestra la subida térmica desde 40 °C hasta 226 °C (12:30 horas) con el recipiente destapado. Este ensayo se realiza con 250 ml. de aceite de girasol, componente habitual en la cocina común, y que a parte de establecer cómo se comportaría la cocina a la hora de utilizar el aceite para freír alimentos, nos permite conocer la temperatura de estancamiento de nuestro dispositivo solar, dato necesario para poder caracterizar la cocina y obtener el rendimiento óptico de la misma. Su comportamiento es igual al ensayo del día

30/07/2009, por lo que se han resumido los datos de temperatura en sus intervalos correspondientes de 10 minutos

El aceite, a diferencia del agua con la que se ha ensayado hasta ahora, nos permite conocer la temperatura de estancamiento gracias a que su punto de ebullición es más alto que la temperatura que alcanza la cocina.

NOTA 2: La zona sombreada en **azul** muestra la subida térmica desde 40 °C hasta 97 °C (13:10 horas) con el recipiente tapado.

Deterioro del aislante cuando el recipiente se encuentra vacío.

Como se ha hecho referencia en los ensayos de calentamiento, el principal problema que se ha encontrado en la realización de los ensayos ha sido a la hora de medir la temperatura cuando el recipiente se encuentra vacío y el termopar en su superficie interior. El aislante que se utiliza para proteger el termopar se deteriora y su superficie adhesiva sufre quemaduras como se puede observar en la siguiente imagen.



Figura 6.1. Deterioro de la cara adhesiva del aislante térmico.

Fuente: propia.

Se puede ver como los hilos que forman la cara adhesiva se queman y pierden sus propiedades iniciales. Toda la superficie tiende a tomar una forma convexa sobre el termopar dentro de la olla.

Radiación horizontal - normal

Como se ha especificado a lo largo de las normativas anteriormente expuestas, la radiación que va a participar en todos los cálculos que realicemos en adelante va a ser su componente normal (a la superficie de la cocina). Esta componente no es facilitada directamente por la estación meteorológica, ya que esta nos da el valor de la radiación horizontal global existente en el intervalo especificado, pero no nos podemos quedar ahí.

Como se ha puntualizado antes de mostrar las hojas de datos, tenemos que tener en cuenta el tipo de radiación incidente sobre nuestra cocina, ya que para este caso específico y a diferencia de los hornos solares o las cocinas CookIt, las cocinas parabólicas funcionan únicamente con la parte de radiación directa, por lo que tenemos que despreciar el aporte difuso de la misma. De no ser despreciado, estaríamos cometiendo un error de cálculo que haría de nuestros cálculos unos valores inválidos para la caracterización de la cocina.

Este apartado, aunque no se facilita en las hojas de datos, se puede calcular fácilmente conociendo cual es el porcentaje de radiación difusa por cada componente global. Este porcentaje, el cual presentará valores semejantes en los meses de verano en los que se ha realizado los ensayos, se puede conocer haciendo una estimación de cual va a ser la componente difusa media para dichos meses.

La forma de conocer esta componente ha sido posible gracias a los registros almacenados por el “**Photovoltaic Geographical Information System**” (PVGIS), como se puede observar en las paginas siguientes extraídas de su base de datos. Se basa en los registros obtenidos de la zona que se desea estudiar y nos permite obtener los valores de temperatura y radiación, facilitando las componentes directas y difusas de las radiaciones que se quieren obtener y las cuales no son posibles de registrar de forma directa por la estación meteorológica de la universidad.

La imagen que se muestra a continuación (*figura 6.2.*) corresponde a página web oficial de PVGIS donde se pasan a fijar los parámetros geográficos para obtener los datos de radiación correspondientes. También se fija tanto el mes (en este caso nos interesa principalmente julio, puesto que es el mes donde se llevan a cabo los principales ensayos sobre la cocina) como el plano sobre el que se quiere calcular la radiación (inicialmente, sobre el plano horizontal).

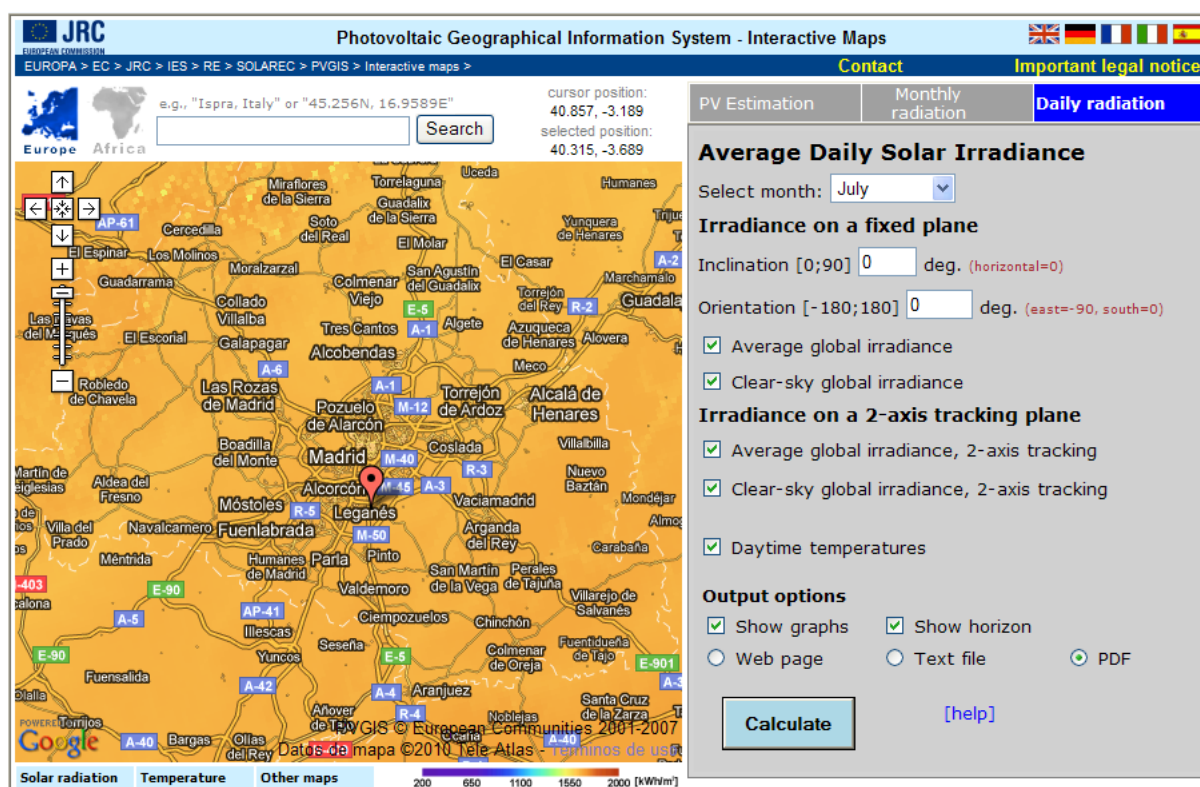


Figura 6.2. Zona geográfica sobre la que se quiere obtener los datos de radiación.

Fuente: Página web oficial de PVGIS.

Una vez fijados los parámetros que se desean obtener, se pasa a calcular los datos* y las gráficas correspondientes.

* Los datos que a continuación se muestran han sido tomados de forma directa y sin ningún tipo de tratamiento por parte de la persona responsable del proyecto, por lo que la veracidad de dichos datos quedan sujetos a “**PVGIS (c) European Communities, 2001-2008**”.

Average Daily Solar Irradiance

PVGIS Estimates of average daily profiles

Location: 40°19'9" North, 3°41'58" West, Elevation: 611 m a.s.l.,

Inclination of plane: 0 deg.

Orientation (azimuth) of plane: 0 deg.

Radiation estimates

| Time | G | Gd | Gc | A | Ad | Ac |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| 05:07 | 51 | 42 | 43 | 201 | 64 | 235 |
| 05:22 | 81 | 58 | 72 | 310 | 105 | 361 |
| 05:37 | 115 | 73 | 109 | 395 | 127 | 462 |
| 05:52 | 153 | 87 | 150 | 468 | 146 | 549 |
| 06:07 | 193 | 101 | 194 | 531 | 162 | 624 |
| 06:22 | 234 | 114 | 241 | 585 | 176 | 688 |
| 06:37 | 276 | 125 | 289 | 632 | 187 | 743 |
| 06:52 | 319 | 136 | 339 | 673 | 197 | 790 |
| 07:07 | 361 | 146 | 389 | 708 | 204 | 831 |
| 07:22 | 402 | 155 | 439 | 738 | 210 | 866 |
| 07:37 | 443 | 162 | 488 | 763 | 215 | 896 |
| 07:52 | 483 | 169 | 537 | 785 | 218 | 921 |
| 08:07 | 521 | 175 | 584 | 804 | 220 | 943 |
| 08:22 | 558 | 180 | 629 | 819 | 222 | 962 |
| 08:37 | 593 | 185 | 673 | 832 | 222 | 977 |
| 08:52 | 626 | 188 | 714 | 843 | 222 | 990 |
| 09:07 | 656 | 191 | 753 | 852 | 221 | 1000 |
| 09:22 | 685 | 193 | 789 | 859 | 220 | 1010 |
| 09:37 | 711 | 195 | 823 | 864 | 218 | 1020 |
| 09:52 | 735 | 196 | 854 | 868 | 217 | 1020 |
| 10:07 | 756 | 197 | 881 | 872 | 215 | 1030 |
| 10:22 | 775 | 198 | 906 | 874 | 213 | 1030 |
| 10:37 | 791 | 199 | 927 | 876 | 211 | 1030 |
| 10:52 | 804 | 199 | 944 | 877 | 210 | 1040 |
| 11:07 | 815 | 199 | 958 | 878 | 208 | 1040 |
| 11:22 | 823 | 199 | 969 | 879 | 207 | 1040 |
| 11:37 | 829 | 199 | 976 | 879 | 207 | 1040 |
| 11:52 | 831 | 199 | 980 | 879 | 206 | 1040 |
| 12:07 | 831 | 199 | 980 | 879 | 206 | 1040 |
| 12:22 | 829 | 199 | 976 | 879 | 207 | 1040 |
| 12:37 | 823 | 199 | 969 | 879 | 207 | 1040 |
| 12:52 | 815 | 199 | 958 | 878 | 208 | 1040 |
| 13:07 | 804 | 199 | 944 | 877 | 210 | 1040 |
| 13:22 | 791 | 199 | 927 | 876 | 211 | 1030 |
| 13:37 | 775 | 198 | 906 | 874 | 213 | 1030 |
| 13:52 | 756 | 197 | 881 | 872 | 215 | 1030 |
| 14:07 | 735 | 196 | 854 | 868 | 217 | 1020 |
| 14:22 | 711 | 195 | 823 | 864 | 218 | 1020 |
| 14:37 | 685 | 193 | 789 | 859 | 220 | 1010 |
| 14:52 | 656 | 191 | 753 | 852 | 221 | 1000 |
| 15:07 | 626 | 188 | 714 | 843 | 222 | 990 |
| 15:22 | 593 | 185 | 673 | 832 | 222 | 977 |
| 15:37 | 558 | 180 | 629 | 819 | 222 | 962 |
| 15:52 | 521 | 175 | 584 | 804 | 220 | 943 |
| 16:07 | 483 | 169 | 537 | 785 | 218 | 921 |
| 16:22 | 443 | 162 | 488 | 763 | 215 | 896 |
| 16:37 | 402 | 155 | 439 | 738 | 210 | 866 |
| 16:52 | 361 | 146 | 389 | 708 | 204 | 831 |
| 17:07 | 319 | 136 | 339 | 673 | 197 | 790 |
| 17:22 | 276 | 125 | 289 | 632 | 187 | 743 |
| 17:37 | 234 | 114 | 241 | 585 | 176 | 688 |
| 17:52 | 193 | 101 | 194 | 531 | 162 | 624 |
| 18:07 | 153 | 87 | 150 | 468 | 146 | 549 |
| 18:22 | 115 | 73 | 109 | 395 | 127 | 462 |
| 18:37 | 81 | 58 | 72 | 310 | 105 | 361 |
| 18:52 | 51 | 42 | 43 | 201 | 64 | 235 |
| 19:07 | 27 | 25 | 21 | 102 | 27 | 122 |

G: Global irradiance on a fixed plane (W/m2)

Gd: Diffuse irradiance on a fixed plane (W/m2)

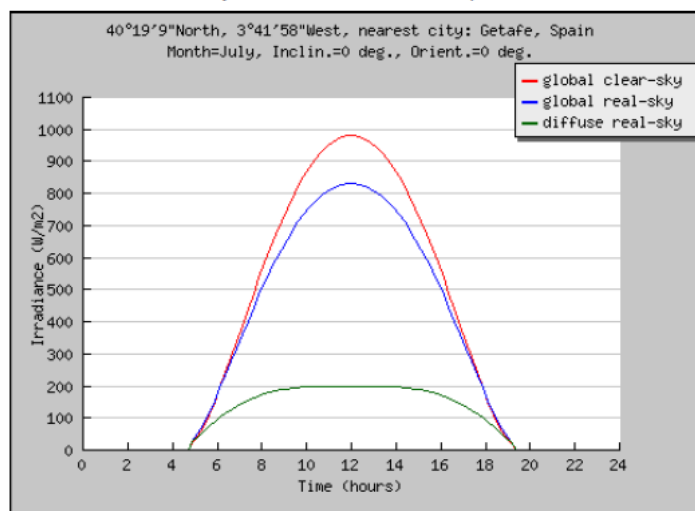
Gc: Global clear-sky irradiance on a fixed plane (W/m2)

A: Global irradiance on 2-axis tracking plane (W/m2)

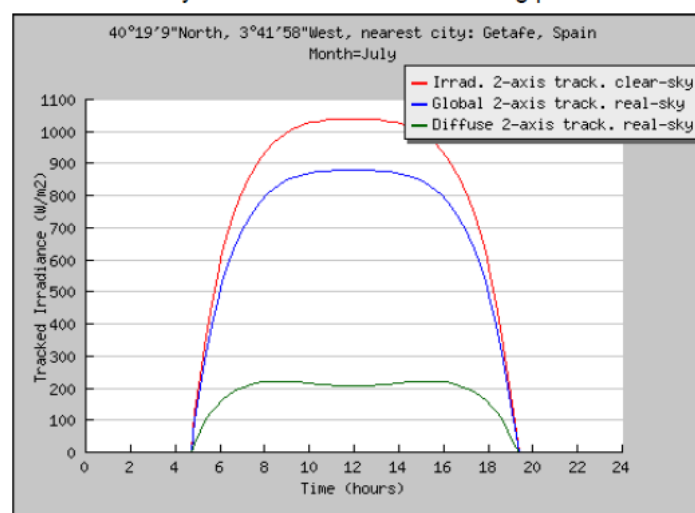
Ad: Diffuse irradiance on 2-axis tracking plane (W/m2)

Ac: Global clear-sky irradiance on 2-axis tracking plane (W/m2)

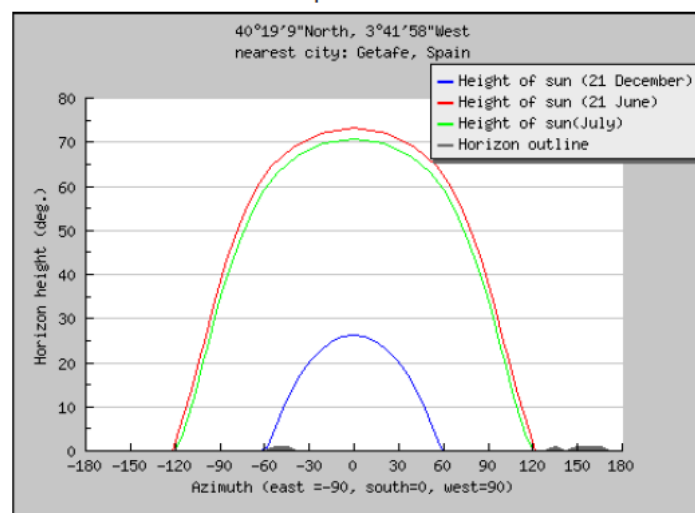
Daily Irradiance on a fixed plane



Daily Irradiance on a 2-axis tracking plane



Outline of horizon with sun path for winter and summer solstice



PVGIS (c) European Communities, 2001-2008
Reproduction is authorised, provided the source is acknowledged.
<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

Disclaimer:

The European Commission maintains this website to enhance public access to information about its initiatives and European Union policies in general. However the Commission accepts no responsibility or liability whatsoever with regard to the information on this site.

This information is:

- of a general nature only and is not intended to address the specific circumstances of any particular individual or entity;
- not necessarily comprehensive, complete, accurate or up to date;
- not professional or legal advice (if you need specific advice, you should always consult a suitably qualified professional).

Some data or information on this site may have been created or structured in files or formats that are not error-free and we cannot guarantee that our service will not be interrupted or otherwise affected by such problems. The Commission accepts no responsibility with regard to such problems incurred as a result of using this site or any linked external sites

Tanto de la relación de los parámetros **Gd** (radiación difusa) y **Gc** (radiación global para cielo despejado) fijados en la tabla, como en las gráficas anteriormente mostradas, se puede obtener la parte de radiación difusa que va a presentar cada unidad de radiación global en el mes de julio.

Este valor nunca va a ser constante a lo largo del día, por lo que se tiene que fijar el intervalo de horas en el cual se va a estudiar la relación de las componentes de la radiación. Esto va a quedar definido por los intervalos de hora en los cuales se han desarrollado los ensayos (12:00-14:00 horas), y así obtener un **porcentaje de radiación difusa medio**.

Este porcentaje, para la zona geográfica exacta en la que nos encontrábamos (Leganés, Comunidad de Madrid), se estima aproximadamente en un **21% de la componente global**, es decir, que de cada registro de radiación obtenido por la estación meteorológica de la universidad, únicamente el 79% del mismo será componente directa con la que realizar los diferentes cálculos de eficiencia de la cocina.

$$I_{directa} = 0,79 \cdot I_{global}$$

Una vez conocida la forma de obtener la componente directa de la radiación horizontal, necesitamos pasar esta a la equivalente al plano de la cocina. En apartados anteriores se podía ver cómo evolucionaba la altura del sol según iba transcurriendo el día para cada uno de los meses del año (*figura 4.3.*), esta altura la traducía en grados, y esos grados nos marcaban el ángulo que formaba el sol en cada uno de sus puntos con respecto a la superficie horizontal.

La gráfica que representaba la *figura 4.3.* era tal que así:

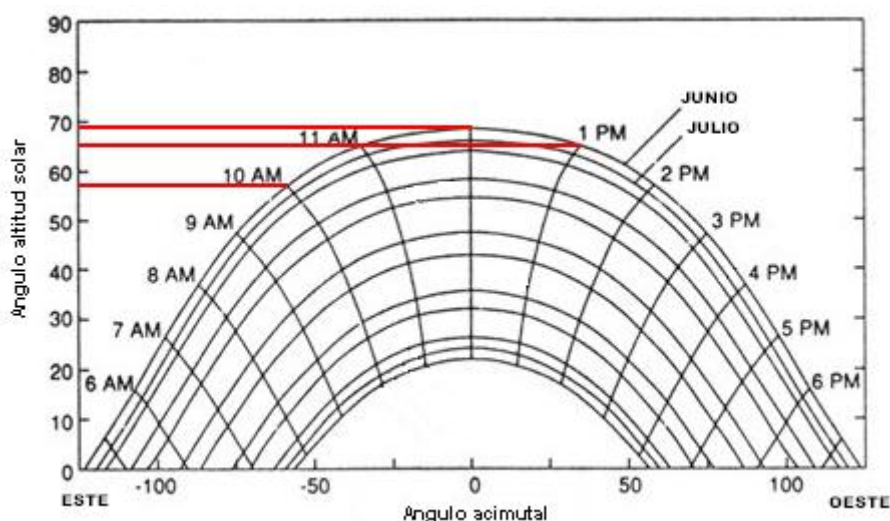


Figura 6.3. Posición solar para cada mes en función de la hora (zona horaria hemisferio norte).

Fuente: "Solar engineering of thermal processes" J.A. Duffie, W.A. Beckman.

Como vemos, para el mediodía solar (11:00-13:00 horas) el máximo está fijado a las 12:00 horas y cada uno de los extremos del intervalo coinciden en el mismo valor del ángulo de inclinación (65° aproximadamente). Como se explicó anteriormente sobre las horas de medida que se han llevado a cabo en la realización de los ensayos del proyecto, nuestras horas de mediciones han sido entre las 10:00-12:00 hora solar (12:00-14:00 hora local), por lo que nuestra inclinación solar media en los meses de junio y julio en las horas de medición vendrá dada por el valor de la inclinación a las 11:00 hora solar y que será igual a 65° .

Esta inclinación nos transforma la radiación horizontal en normal según se ha explicado en el apartado 4.2. y donde muestra en la siguiente figura.

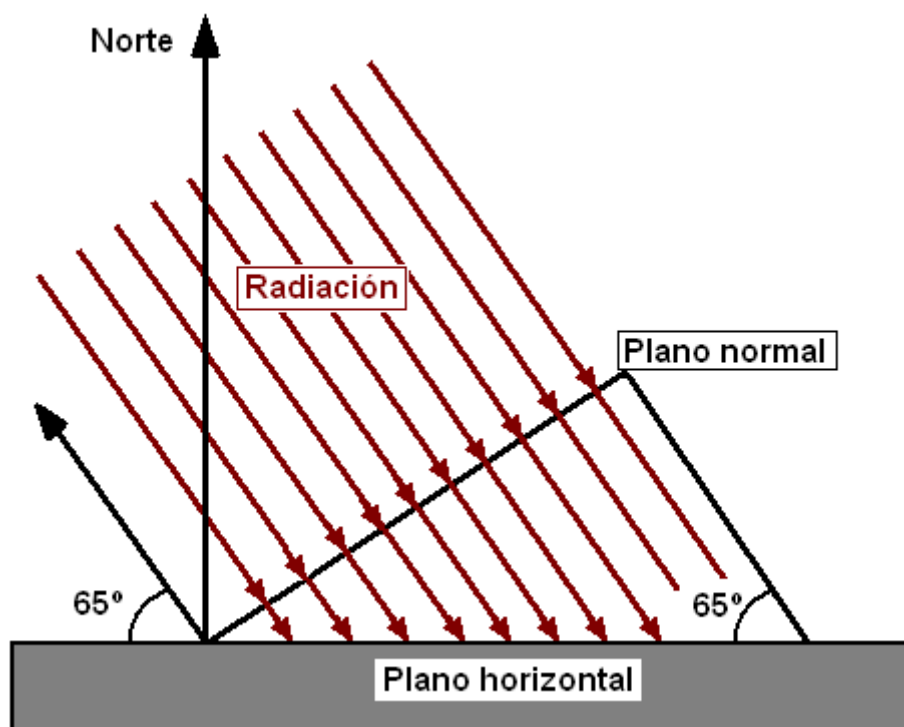


Figura 6.4. Trayectoria radiación solar sobre el plano normal-horizontal para 65°.

Fuente: propia.

La traducción de la gráfica a valores numéricos que nos permitan obtener la relación de áreas para así obtener la radiación en el plano normal a la radiación solar va a ser muy sencilla:

$$Area_{normal} = Area_{horizontal} \cdot \sin 65$$

$$Area_{normal} = 0,906 \cdot Area_{horizontal}$$

Conocido esto, se puede obtener de igual forma la relación que existirá entre las intensidades de radiación, puesto que siempre va a cumplir que “ $I_{directa} \cdot A$ ” es un valor constante, así obtenemos:

$$I_{normal} = \frac{1}{0,906} \cdot I_{horizontal}$$

Tabla día 17/06/2009:

| Hora local | Temperatura ambiente | Radiación horizontal | Radiación normal directa (65°) | Temperatura en el recipiente |
|-------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|
| 11:30 | 23,28 | 622,68 | 543,08 | 40 |
| 11:40 | 23,24 | 661,90 | 577,28 | 76 |
| 11:50 | 23,53 | 699,54 | 610,11 | 97 |
| 12:00 | 24,23 | 824,55 | 719,14 | 97 |
| 12:10 | 24,05 | 832,33 | 725,93 | 83 |
| 12:20 | 24,62 | 838,07 | 730,93 | 72 |
| 12:30 | 24,61 | 863,67 | 753,25 | 64 |
| 12:40 | 25,08 | 833,54 | 726,98 | 59 |
| 12:50 | 25,54 | 913,96 | 797,12 | 54 |
| 13:00 | 25,42 | 925,65 | 807,31 | 49 |
| 13:10 | 25,55 | 923,37 | 805,33 | 45 |
| 13:20 | 26,51 | 904,90 | 789,22 | 42 |
| 13:30 | 26,36 | 896,38 | 781,79 | 40 |
| 13:40 | 27,01 | 936,74 | 816,99 | 73 |
| 13:50 | 27,52 | 942,91 | 822,36 | 88 |
| 14:00 | 28,31 | 937,03 | 817,24 | 92 |
| 14:10 | 28,35 | 951,21 | 829,61 | 92 |

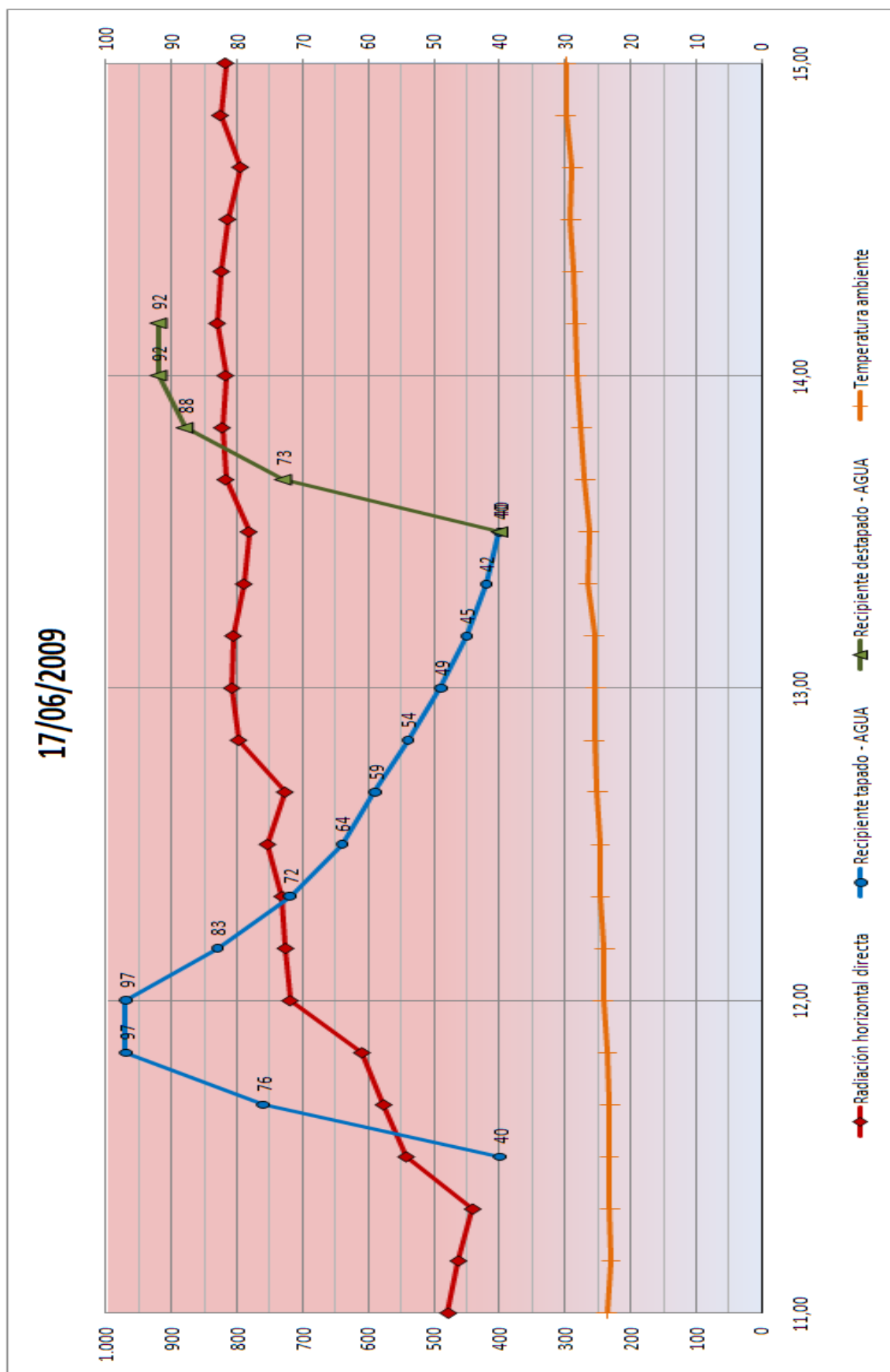


Tabla día 18/06/2009:

| Hora local | Temperatura ambiente | Radiación horizontal | Radiación normal directa (65°) | Temperatura en el recipiente |
|-------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|
| 11:40 | 27,67 | 754,40 | 657,96 | 40 |
| 11:50 | 28,47 | 779,03 | 679,44 | 68 |
| 12:00 | 28,61 | 771,54 | 672,90 | 82 |
| 12:10 | 28,98 | 825,18 | 719,69 | 89 |
| 12:20 | 29,59 | 735,87 | 641,80 | 84 |
| 12:30 | 29,62 | 630,64 | 550,02 | 56 |
| 12:40 | 29,74 | 886,88 | 773,50 | 43 |
| 12:50 | 30,48 | 876,27 | 764,25 | 37 |
| 13:00 | 30,90 | 879,19 | 766,79 | 40 |
| 13:10 | 30,86 | 888,89 | 775,25 | 92 |
| 13:20 | 31,12 | 897,54 | 782,79 | 97 |
| 13:30 | 31,65 | 912,14 | 795,53 | 97 |
| 13:40 | 32,11 | 912,19 | 795,57 | 85 |
| 13:50 | 33,14 | 913,81 | 796,99 | 73 |
| 14:00 | 32,78 | 918,49 | 801,07 | 64 |
| 14:10 | 33,01 | 922,85 | 804,87 | 59 |

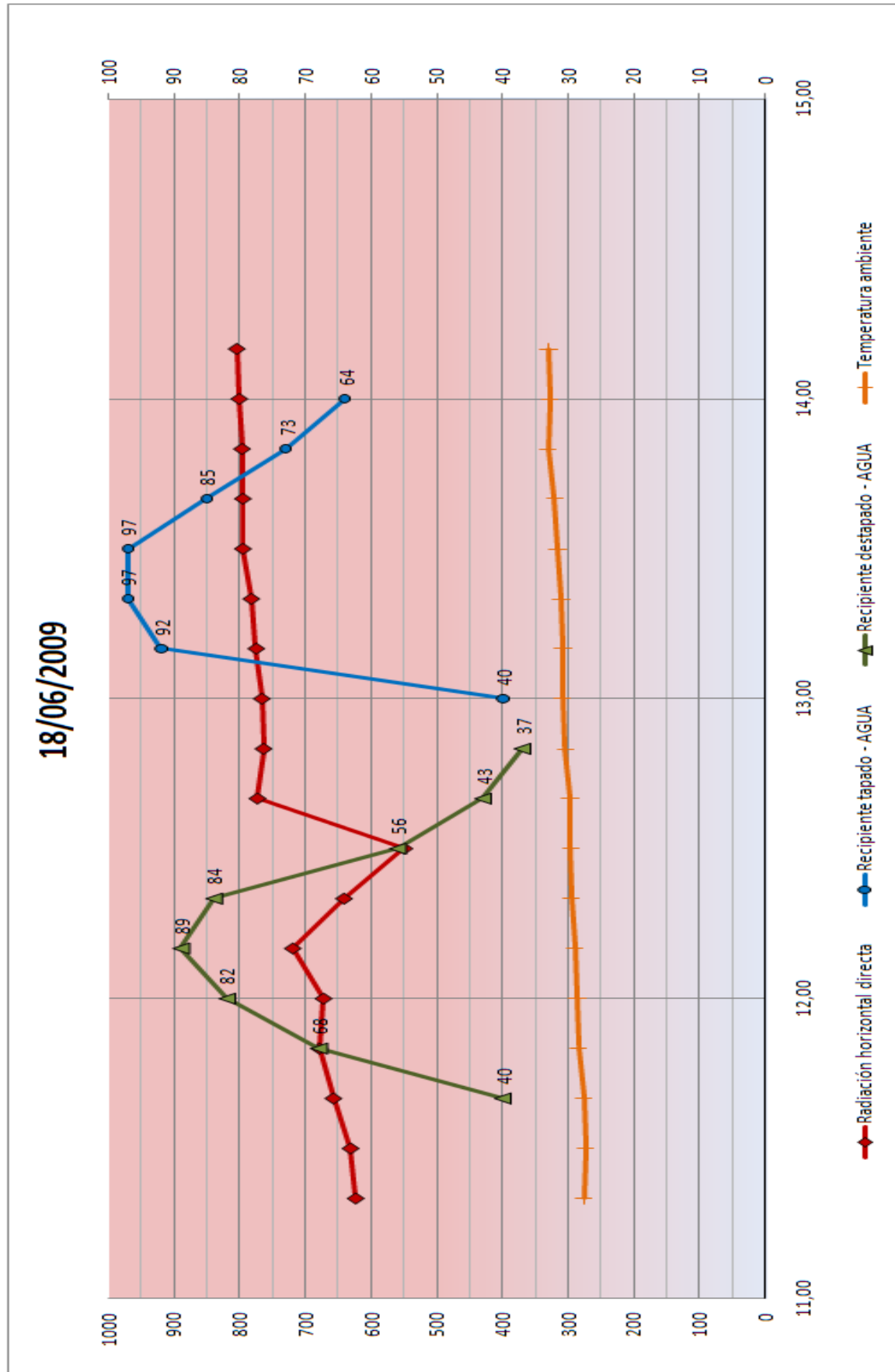


Tabla día 08/07/2009:

| Hora local | Temperatura ambiente | Radiación horizontal | Radiación normal directa (65°) | Temperatura en el recipiente |
|-------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|
| 12:00 | 24,20 | 800,50 | 698,17 | 40 |
| 12:10 | 24,39 | 820,28 | 715,42 | 85 |
| 12:20 | 24,56 | 841,17 | 733,64 | 97 |
| 12:30 | 25,68 | 857,97 | 748,29 | 97 |
| 12:40 | 25,58 | 870,11 | 758,87 | 85 |
| 12:50 | 25,77 | 876,80 | 764,71 | 76 |
| 13:00 | 26,06 | 898,12 | 783,30 | 70 |
| 13:10 | 26,62 | 903,53 | 788,02 | 65 |
| 13:20 | 26,92 | 915,08 | 798,10 | 62 |
| 13:30 | 26,84 | 918,59 | 801,16 | 59 |
| 13:40 | 26,94 | 920,31 | 802,66 | 57 |
| 13:50 | 27,97 | 929,35 | 810,54 | 55 |
| 14:00 | 28,48 | 928,71 | 809,98 | 54 |

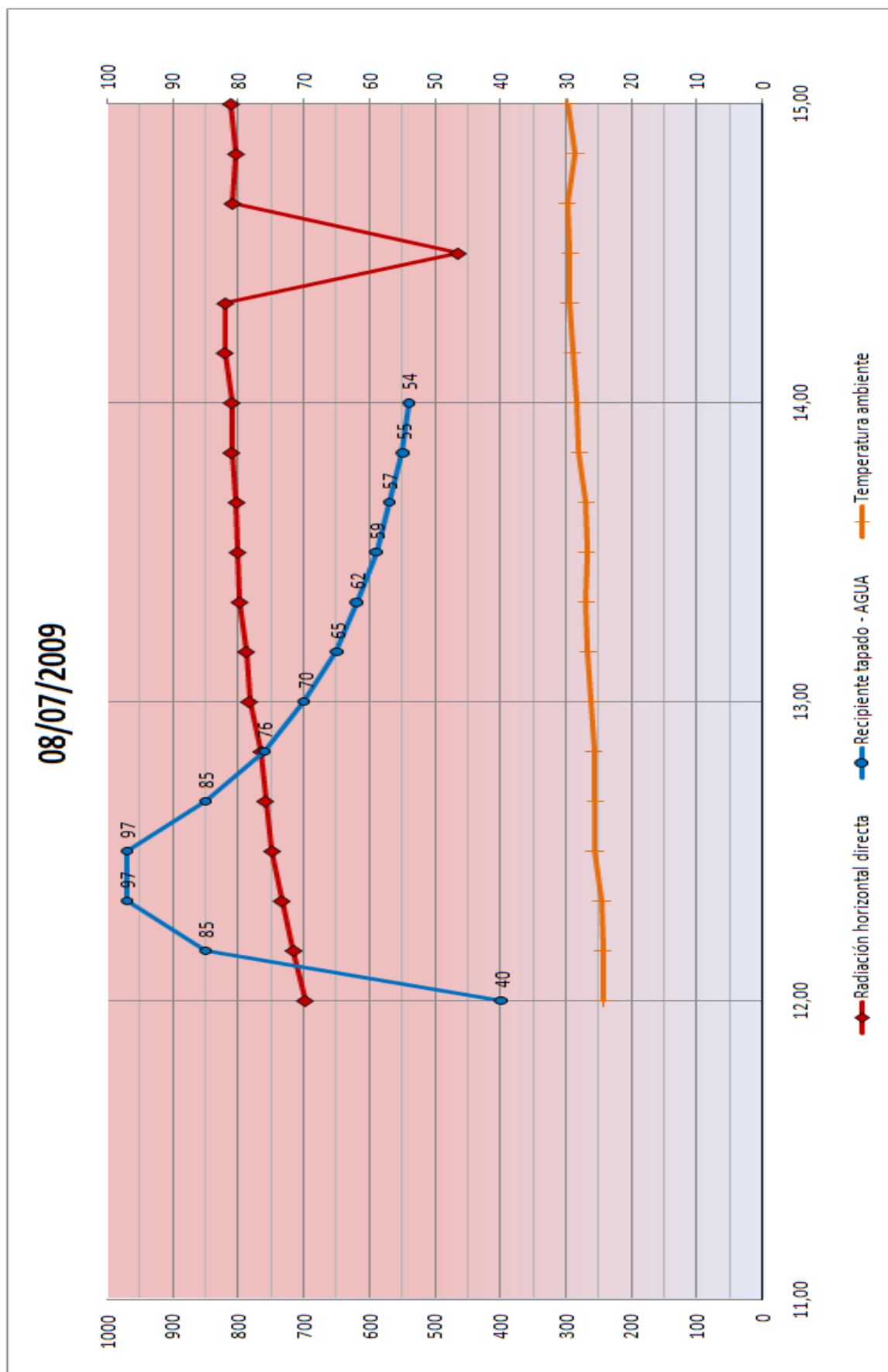


Tabla día 09/07/2009:

| Hora local | Temperatura ambiente | Radiación horizontal | Radiación normal directa (65°) | Temperatura en el recipiente |
|-------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|
| 12:00 | 25,38 | 789,31 | 688,41 | 40 |
| 12:10 | 25,90 | 807,25 | 704,05 | 74 |
| 12:20 | 26,40 | 821,38 | 716,38 | 88 |
| 12:30 | 27,13 | 839,01 | 731,75 | 92 |
| 12:40 | 26,92 | 850,33 | 741,62 | 92 |
| 12:50 | 27,46 | 873,74 | 762,04 | 63 |
| 13:00 | 28,19 | 890,33 | 776,51 | 51 |
| 13:10 | 28,07 | 896,44 | 781,84 | 44 |
| 13:20 | 28,76 | 897,95 | 783,15 | 40 |

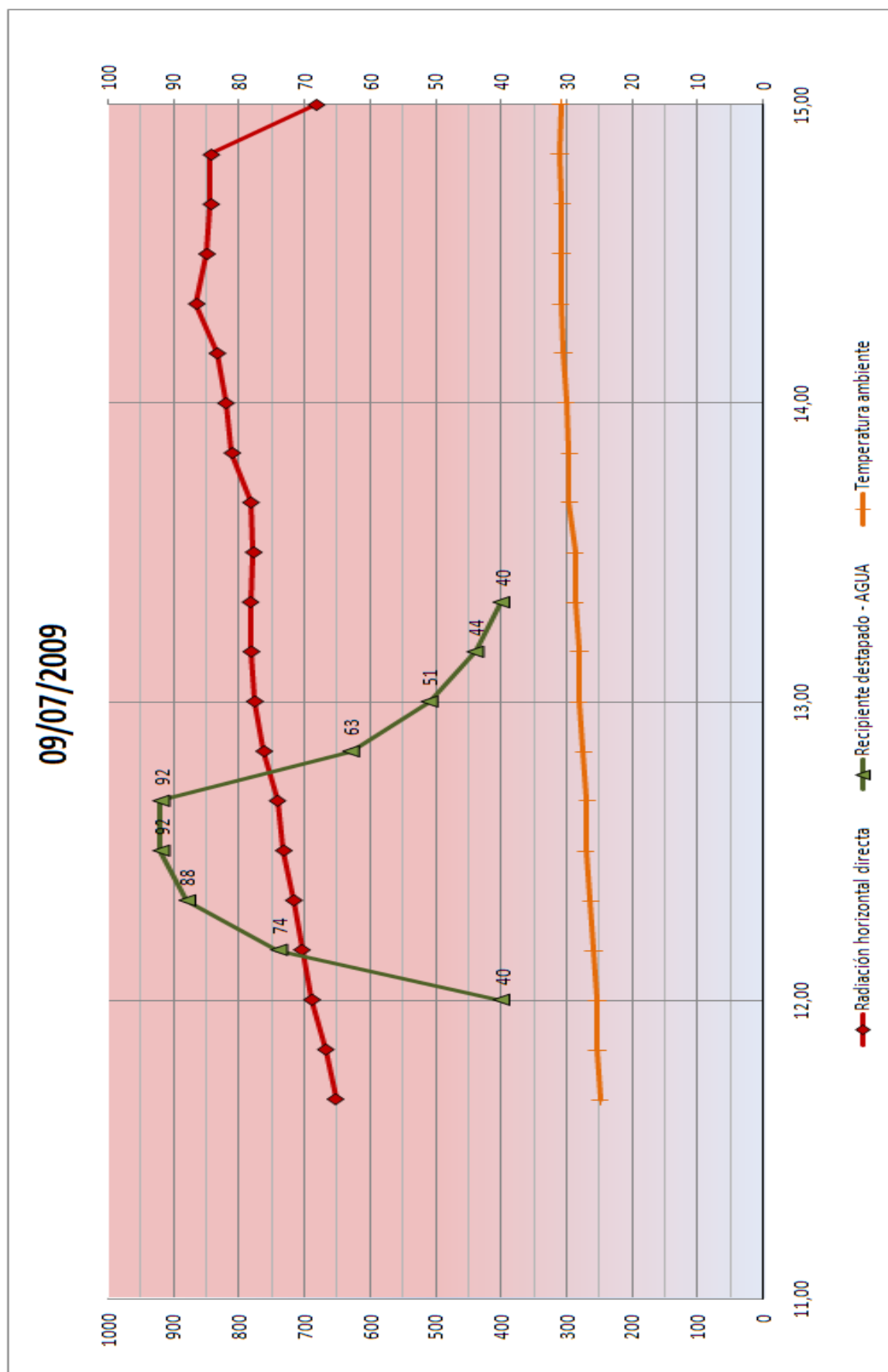


Tabla día 16/07/2009:

| Hora local | Temperatura ambiente | Radiación horizontal | Radiación normal directa (65°) | Temperatura en el recipiente |
|------------|----------------------|----------------------|--------------------------------|------------------------------|
| 12:10 | 28,39 | 803,33 | 700,63 | 40 |
| 12:20 | 28,66 | 813,35 | 709,37 | 84 |
| 12:30 | 29,29 | 841,91 | 734,28 | 97 |
| 12:40 | 29,66 | 870,91 | 759,57 | 97 |
| 12:50 | 29,77 | 883,99 | 770,98 | |
| 13:00 | 29,78 | 904,03 | 788,46 | 40 |
| 13:10 | 29,96 | 910,81 | 794,37 | 78 |
| 13:20 | 30,36 | 933,97 | 814,57 | 90 |
| 13:30 | 30,68 | 951,74 | 830,07 | 92 |
| 13:40 | 30,87 | 955,08 | 832,98 | 92 |
| 13:50 | 30,96 | 966,09 | 842,59 | 92 |
| 14:00 | 31,37 | 959,64 | 836,96 | 92 |

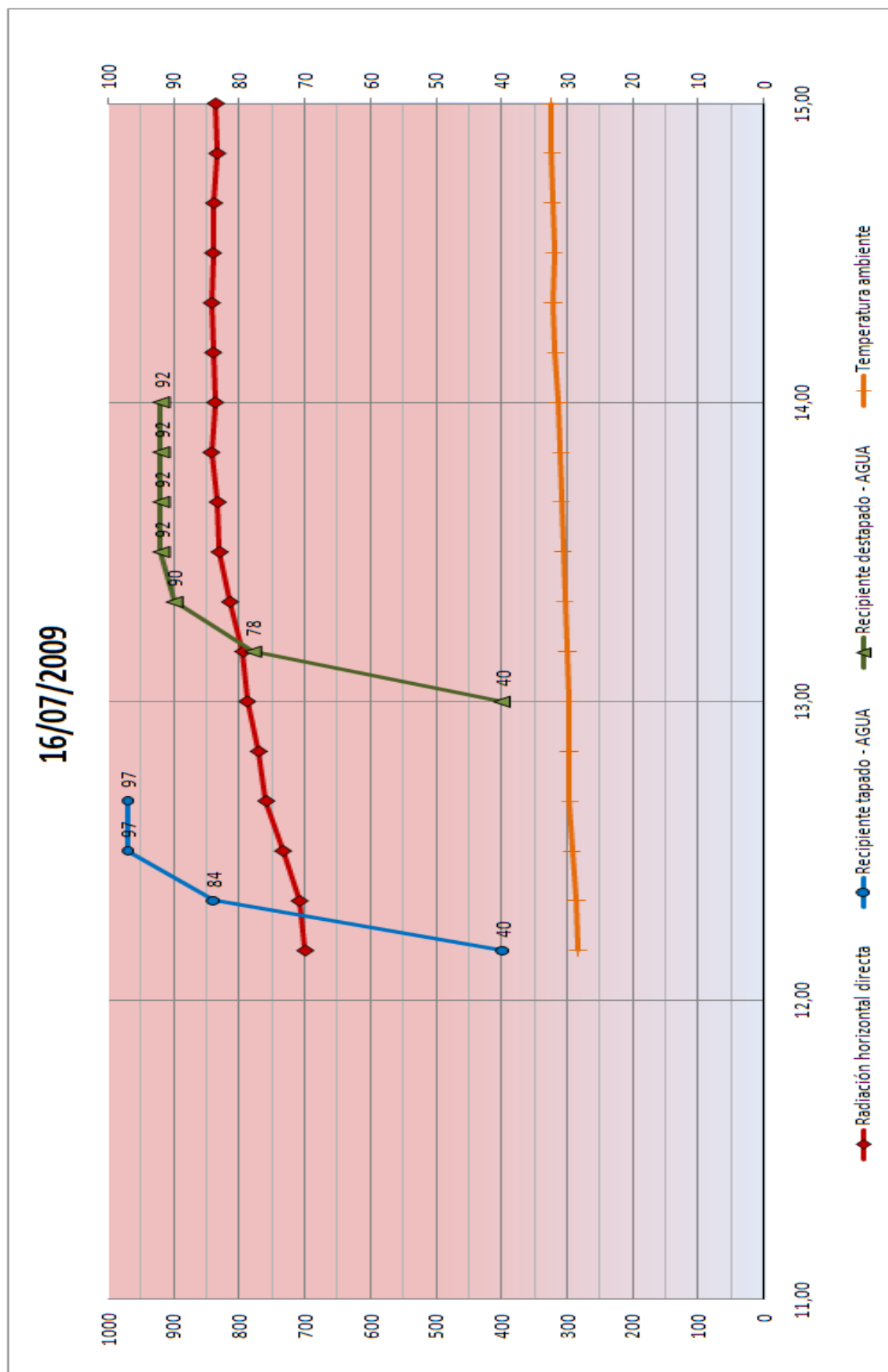


Tabla día 17/07/2009:

| Hora local | Temperatura ambiente | Radiación horizontal | Radiación normal directa (65°) | Temperatura en el recipiente |
|-------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|
| 12:00 | 23,47 | 824,24 | 718,87 | 40 |
| 12:10 | 23,31 | 841,15 | 733,61 | 74 |
| 12:20 | 23,17 | 869,18 | 758,07 | 88 |
| 12:30 | 23,28 | 881,50 | 768,81 | 92 |
| 12:40 | 23,86 | 895,13 | 780,70 | 92 |
| 12:50 | 23,88 | 908,91 | 792,71 | |
| 13:00 | 24,48 | 919,12 | 801,62 | 40 |
| 13:10 | 24,05 | 927,67 | 809,07 | 208 |
| 13:20 | 24,17 | 939,95 | 819,79 | 221 |
| 13:30 | 24,35 | 948,46 | 827,21 | 215 |
| 13:40 | 24,61 | 956,30 | 834,05 | 215 |

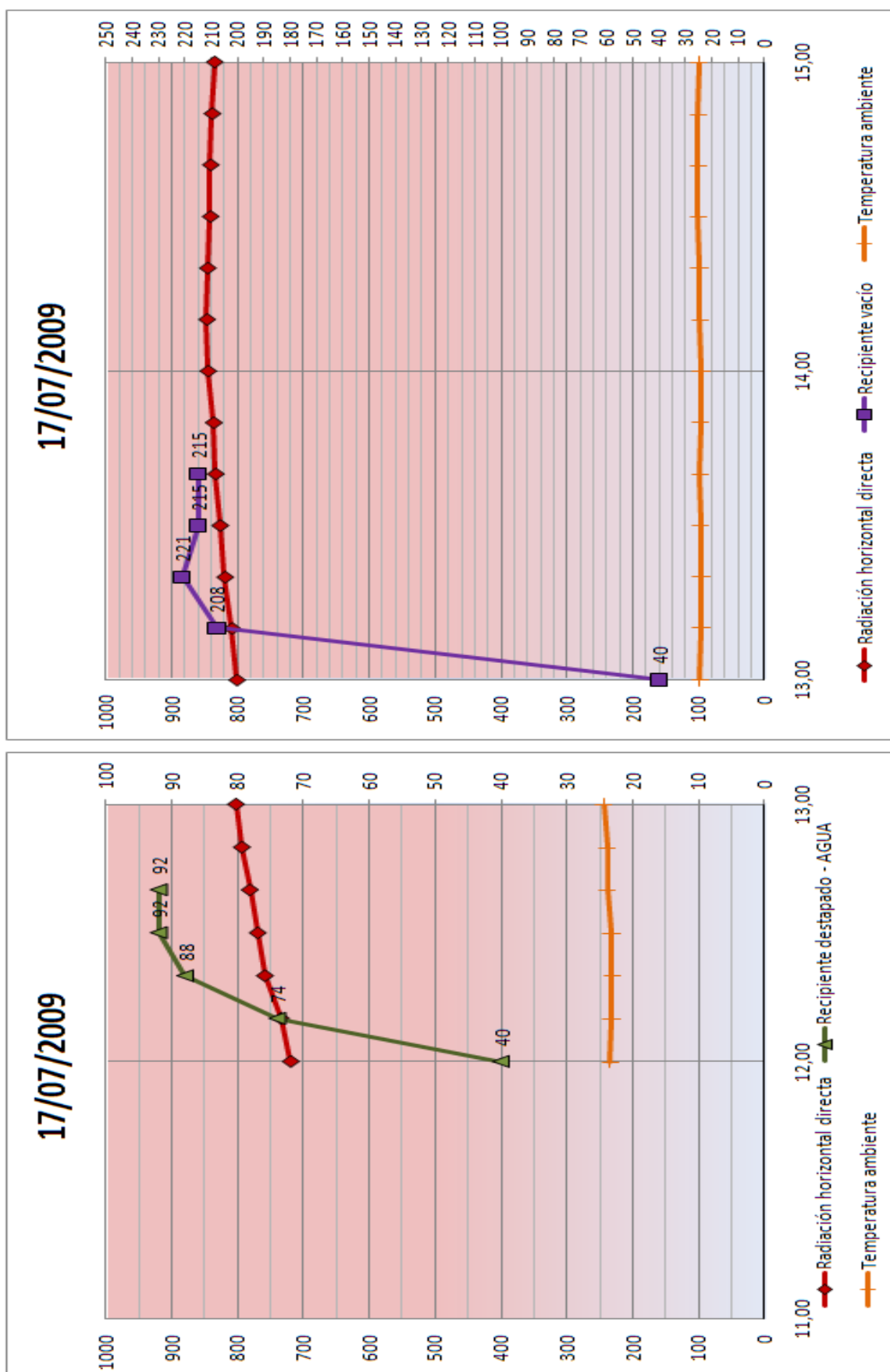


Tabla día 24/07/2009:

| Hora local | Temperatura ambiente | Radiación horizontal | Radiación normal directa (65°) | Temperatura en el recipiente |
|-------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|
| 12:00 | 23,67 | 814,43 | 710,32 | 40 |
| 12:10 | 23,91 | 830,73 | 724,53 | 73 |
| 12:20 | 24,15 | 852,43 | 743,46 | 86 |
| 12:30 | 24,25 | 874,65 | 762,83 | 92 |
| 12:40 | 24,46 | 891,37 | 777,42 | 92 |
| 12:50 | 24,92 | 907,85 | 791,79 | |
| 13:00 | 25,10 | 917,58 | 800,28 | 40 |
| 13:10 | 25,37 | 928,27 | 809,60 | 94 |
| 13:20 | 25,83 | 936,16 | 816,48 | 97 |

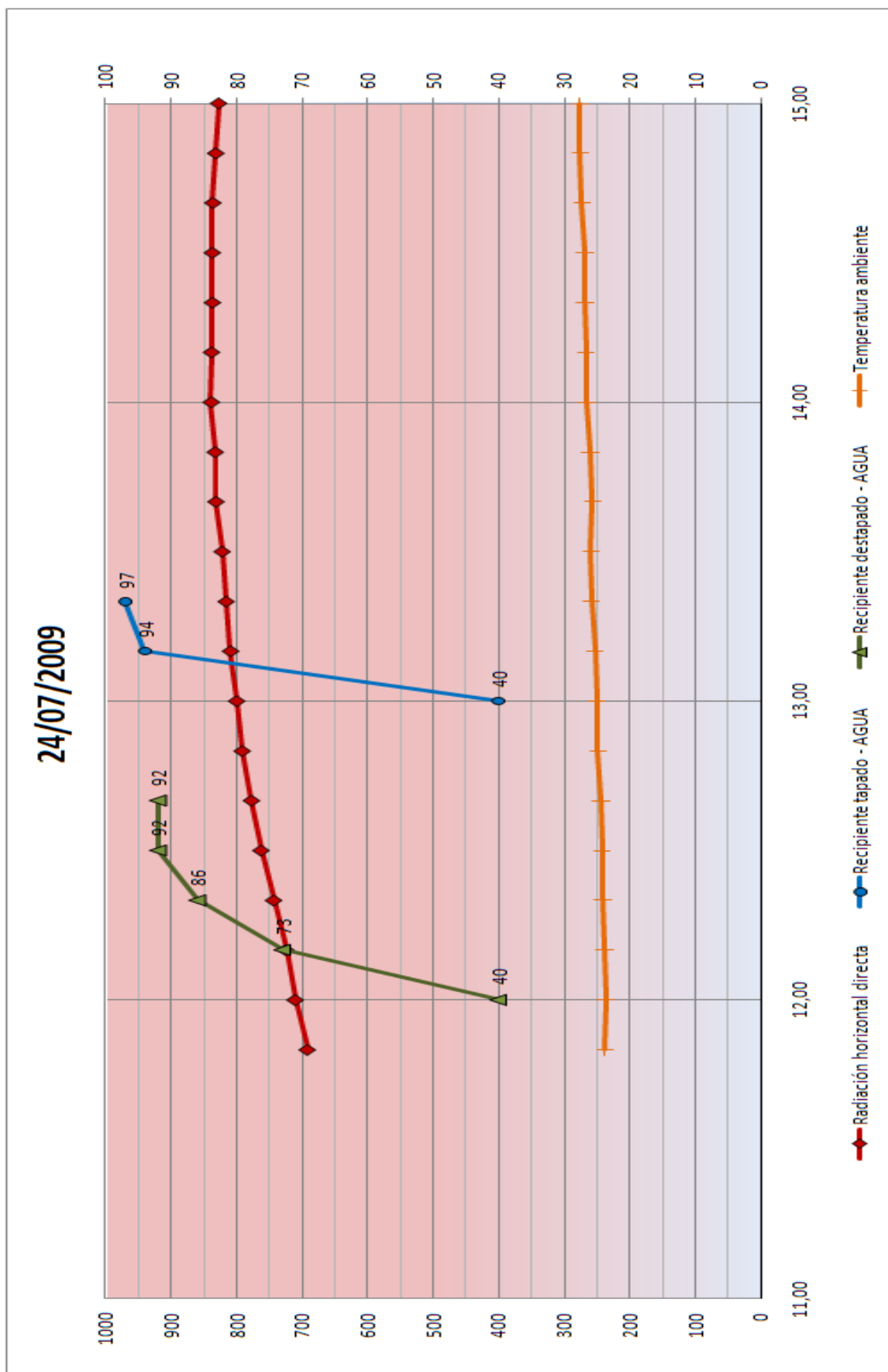


Tabla día 29/07/2009:

| Hora local | Temperatura ambiente | Radiación horizontal | Radiación normal directa (65°) | Temperatura en el recipiente |
|------------|----------------------|----------------------|--------------------------------|------------------------------|
| 12:00 | 28,02 | 823,04 | 717,82 | 40 |
| 12:10 | 28,72 | 840,95 | 733,45 | 202 |
| 12:15 | | | | 213 |
| 12:20 | 28,67 | 859,73 | 749,82 | 218 |
| 12:30 | 28,91 | 876,18 | 764,17 | 211 |
| 12:40 | 29,34 | 892,70 | 778,58 | 211 |
| 12:50 | 29,14 | 908,31 | 792,19 | |
| 13:00 | 29,45 | 920,18 | 802,54 | 40 |
| 13:10 | 29,97 | 932,88 | 813,62 | 76 |
| 13:20 | 29,67 | 947,34 | 826,24 | 88 |
| 13:30 | 30,02 | 956,12 | 833,89 | 92 |
| 13:40 | 30,29 | 962,08 | 839,09 | 92 |
| 13:50 | 30,74 | 964,56 | 841,25 | 92 |

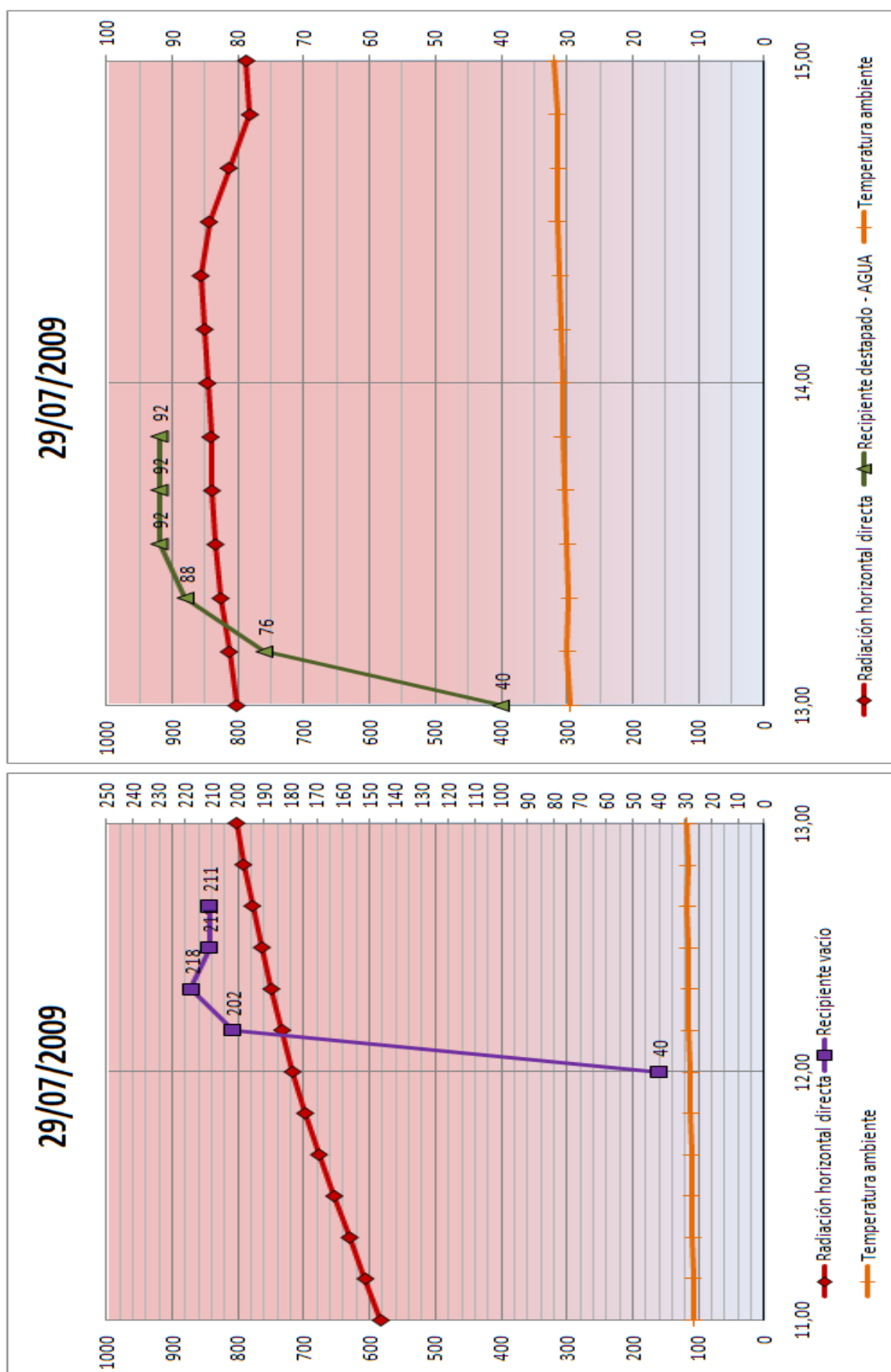


Tabla día 30/07/2009:

| Hora local | Temperatura ambiente | Radiación horizontal | Radiación normal directa (65°) | Temperatura en el recipiente |
|------------|----------------------|----------------------|--------------------------------|------------------------------|
| 12:00 | 27,15 | 782,10 | 682,12 | 40 |
| 12:01 | | | | 47 |
| 12:02 | | | | 63 |
| 12:03 | | | | 82 |
| 12:04 | | | | 102 |
| 12:05 | | | | 118 |
| 12:06 | | | | 134 |
| 12:07 | | | | 143 |
| 12:08 | | | | 151 |
| 12:09 | | | | 157 |
| 12:10 | 27,47 | 802,82 | 700,18 | 164 |
| 12:11 | | | | 170 |
| 12:12 | | | | 176 |
| 12:13 | | | | 182 |
| 12:14 | | | | 188 |
| 12:15 | | | | 193 |
| 12:16 | | | | 197 |
| 12:17 | | | | 201 |
| 12:18 | | | | 205 |
| 12:19 | | | | 209 |
| 12:20 | 28,05 | 826,19 | 720,57 | 212 |
| 12:21 | | | | 215 |
| 12:22 | | | | 218 |
| 12:23 | | | | 221 |
| 12:24 | | | | 224 |
| 12:25 | | | | 226 |
| 12:26 | | | | 226 |
| 12:27 | | | | 226 |
| 12:28 | | | | 226 |
| 12:29 | | | | 226 |
| 12:30 | 27,98 | 844,78 | 736,78 | 226 |
| 12:40 | 28,75 | 859,51 | 749,63 | 226 |
| 12:50 | 28,94 | 870,10 | 758,87 | |
| 13:00 | 29,45 | 879,10 | 766,71 | 40 |
| 13:10 | 29,39 | 886,40 | 773,09 | 204 |
| 13:15 | | | | 215 |
| 13:20 | 29,45 | 900,04 | 784,98 | 220 |
| 13:30 | 29,78 | 919,09 | 801,60 | 217 |
| 13:40 | 29,47 | 918,57 | 801,14 | 217 |

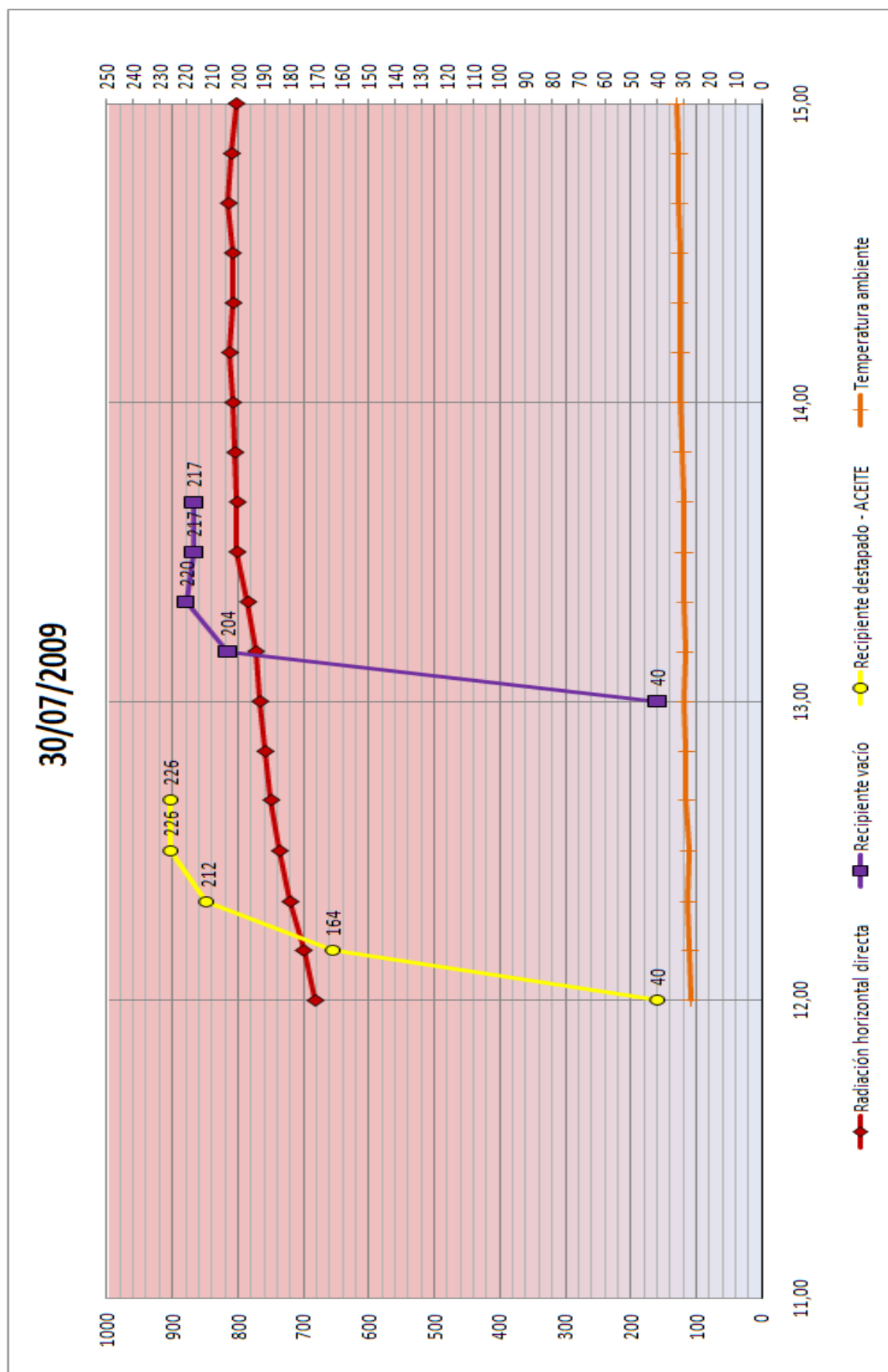
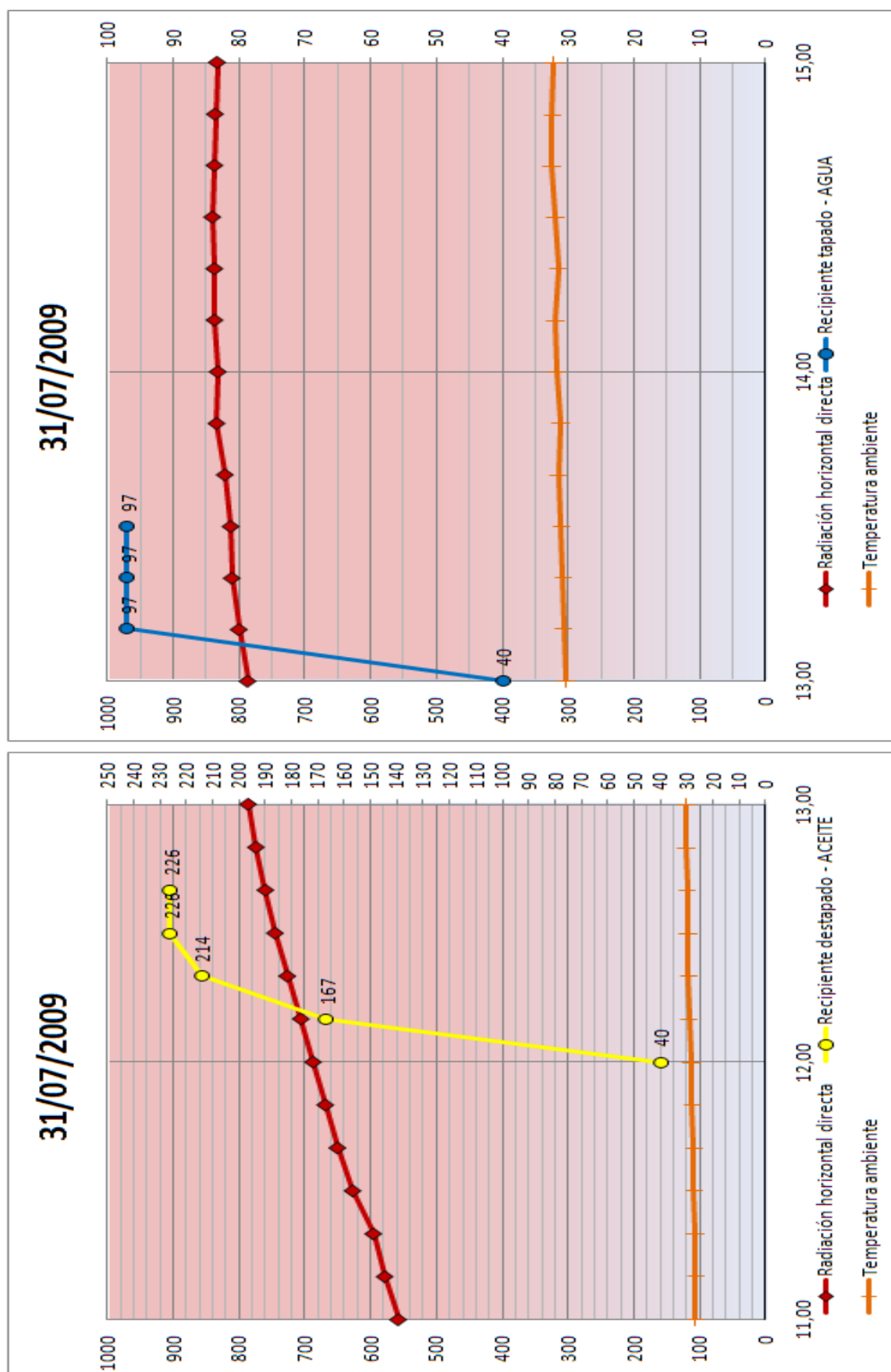


Tabla día 31/07/2009:

| Hora local | Temperatura ambiente | Radiación horizontal | Radiación normal directa (65º) | Temperatura en el recipiente |
|-------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|
| 12:00 | 28,20 | 788,16 | 687,40 | 40 |
| 12:10 | 29,06 | 809,47 | 705,99 | 167 |
| 12:20 | 29,35 | 833,29 | 726,77 | 214 |
| 12:30 | 29,48 | 854,65 | 745,39 | 226 |
| 12:40 | 29,91 | 871,40 | 760,00 | 226 |
| 12:50 | 30,33 | 887,86 | 774,35 | |
| 13:00 | 30,33 | 901,48 | 786,24 | 40 |
| 13:10 | 30,68 | 916,56 | 799,39 | 93 |
| 13:20 | 30,81 | 928,79 | 810,05 | 97 |
| 13:30 | 31,06 | 930,73 | 811,74 | 97 |



7. RESULTADOS DE ACUERDO A LAS NORMATIVAS

Los resultados a obtener de todos los ensayos realizados en el proyecto y mostrados en las tablas del apartado anterior se van a mostrar en función de cada una de las normas detalladas en el apartado 5 del proyecto, obteniendo los valores de **potencia** (Sociedad Americana de Ingenieros Agrónomos), **figuras de mérito** (Oficina de Normas de la India), **ensayos y valoraciones** (Comité Europeo de Investigación) y **rendimiento óptico** (Modelo Cero-dimensional).

Cada uno de estos apartados nos va a dar unos **resultados** numéricos **objetivos y experimentales**, que se ven completados por el carácter subjetivo y de opinión que presenta la norma europea. Todo ello va a ser el resultado buscado por este proyecto, el de caracterizar nuestra cocina solar parabólica.

Los datos y resultados que se van a mostrar en este apartado son experimentales para las hojas de datos mostradas en el apartado anterior, cuyos valores no son extrapolables a otros dispositivos de cocción solar ni, partiendo del mismo dispositivo, a otros días u horas diferentes de las especificadas en cada apartado. Cabe esperar que los resultados para cualquier prueba realizada en las condiciones climatológicas óptimas (que permitan el estudio de caracterización) y mismo lugar y época del año respecto a dispositivos semejantes sean más que parecidos, y que con la experiencia en este campo, se puedan obtener unos intervalos de valores constantes en el tiempo, pero hasta llegar a ese punto, partimos de la base de estos primeros ensayos de rendimiento.

La práctica nos permite llegar a la conclusión de que los datos relativos a los ensayos de nuestra cocina solar para cada una de las variables de funcionamiento expuestas (olla con agua tapada, destapada, con aceite o vacía) son muy semejantes y siempre dentro del mismo orden. Esto permitirá que en vez de repetir cada norma para cada uno de los días estudiados, se va a asignar un día y un intervalo de hora fijo, libre de alteraciones externas a la cocina, para obtener los diferentes resultados de las normas y que, por presentar el mismo comportamiento, serán extrapolables a los días en los que la cocina presente un mismo comportamiento y valores de temperatura.

Los días asignados para llevar a cabo el estudio de la cocina y obtener los diferentes resultados de cada norma para cada variable de funcionamiento van a ser los siguientes.

- Recipiente **tapado** con 1750 ml. de agua (12:00-13:00 horas).

Día 16/07/2009

- Recipiente **tapado** con 1750 ml. de agua (13:00-14:00 horas).

Día 24/07/2009

- Recipiente **destapado** con 1750 ml. de agua (12:00-13:00 horas).

Día 24/07/2009

- Recipiente **destapado** con 1750 ml. de agua (13:00-14:00 horas).

Día 16/07/2009

- Recipiente **destapado** con 250 ml. de **aceite**.

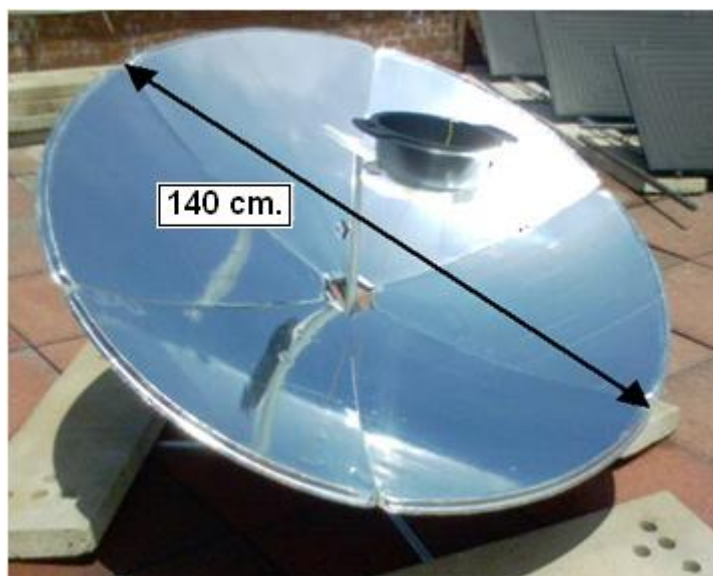
Día 30/07/2009

- Recipiente **vacío**.

Día 30/07/2009

Aparte de conocer el contenido del recipiente en cada uno de los ensayos, debemos considerar también la masa y el calor específico del recipiente. Este recipiente es una **cacerola de fundición de aluminio**. Al ser una fundición, no va a ser aluminio 100%, pero a efectos prácticos de cálculo vamos a considerarlo únicamente como aluminio puro, por lo que podemos dejar su calor específico en 897 [J/Kg·K] (propio del aluminio). Su peso va a ser de 1.6 Kg sin tapa y 2.3 Kg con tapa, variable en cada ensayo (*Fuente de las imágenes o datos relativos a la olla: facilitados por el fabricante de la olla ISOGONA S.L.*).

Áreas en la cocina



$$A_a = \pi \cdot r^2$$

$$A_a = \pi \cdot 0,7^2 = 1,54 [m^2]$$



$$A = \pi[g(R + r) + R^2 + r^2]$$

$$A = \pi[11.3(12 + 9,5) + 12^2 + 9,5^2]$$

$$A = 1500 [cm^2] = 0,15 [m^2]$$

Calculo variable “C” (calores específicos y masas)

- Recipiente **tapado** con 1750 ml. de agua.

$$C = c_{agua} \cdot m_{agua} + c_{rec.} \cdot m_{rec.}$$

$$C = 4181 \cdot 1,75 + 897 \cdot 2,3$$

$$C = 9586,85 \text{ [J/K]}$$

- Recipiente **destapado** con 1750 ml. de agua.

$$C = c_{agua} \cdot m_{agua} + c_{rec.} \cdot m_{rec.}$$

$$C = 4181 \cdot 1,75 + 897 \cdot 1,6$$

$$C = 8751,95 \text{ [J/K]}$$

- Recipiente **destapado** con 250 ml. de **aceite**.

$$C = c_{aceite} \cdot m_{aceite} + c_{rec.} \cdot m_{rec.}$$

$$C = 1604 \cdot 0,25 + 897 \cdot 1,6$$

$$C = 1836,20 \text{ [J/K]}$$

- Recipiente **destapado vacío**.

$$C = c_{rec.} \cdot m_{rec.}$$

$$C = 897 \cdot 1,6$$

$$C = 1435,20 \text{ [J/K]}$$

7.1. SOCIEDAD AMERICANA DE INGENIEROS AGRÓNOMOS (ASAE S580)

La ASAE S580 desarrolla su propia norma desde el punto de vista de la potencia que desarrolla la cocina durante el proceso de calentamiento. La potencia de calentamiento no va a ser constante, puesto que tenderá a disminuir según se acerque a su temperatura de estancamiento o de ebullición del líquido que se encuentre en el recipiente (la primera en llegar), siendo su valor cero cuando se alcanza dicho punto debido al efecto de las pérdidas de calor

Por esta misma razón, tomaremos como potencia base la potencia que se registra en el primer intervalo de tiempo desde que se empieza a registrar la temperatura, y que será el valor de potencia mayor de la cocina.

Los valores de potencia que se van a mostrar a continuación son intervalos de potencia representativos de nuestro dispositivo de cocción que nos permite hacernos una idea de su funcionamiento y de su capacidad de cocinar cualquier alimento.

| <u>Procedimiento 1</u> | <u>Procedimiento 2</u> |
|--|--|
| $P = \left(\frac{T_2 - T_1}{600} \right) C$ | $P_s = P \left(\frac{700}{I} \right)$ |

- **Recipiente tapado con agua.**

Con el recipiente tapado y lleno hasta la mitad de su altura interior de agua conocemos el valor de C ya calculado anteriormente:

$$C = 9586,85 \text{ [J/K]}$$

En función de los intervalos de temperatura y la radiación directa sobre el plano de la cocina sustituimos directamente en los dos procedimientos de la norma.

16/07/2009

| Hora local | Rad. normal directa (65°) | Temperatura en cocina |
|------------|---------------------------|-----------------------|
| 12:10 | 700,63 | 40 |
| 12:20 | 709,37 | 84 |
| 12:30 | 734,28 | 97 |
| 12:40 | 759,57 | 97 |

24/07/2009

| Hora local | Rad. normal directa (65°) | Temperatura en cocina |
|------------|---------------------------|-----------------------|
| 13:00 | 800,28 | 40 |
| 13:10 | 809,60 | 94 |
| 13:20 | 816,48 | 97 |

Donde obtenemos unos valores de **potencia**.

| | 16/07/2009 – 12:00 h. | 24/07/2009 – 13:00 h. |
|--------------------------|-----------------------|-----------------------|
| P [W] | 703,04 | 862,82 |
| P_s [W] | 698,05 | 750,33 |

- **Recipiente destapado con agua.**

Con el recipiente tapado y lleno hasta la mitad de su altura interior de agua conocemos el valor de C ya calculado anteriormente:

$$C = 8751,95 \text{ [J/K]}$$

En función de los intervalos de temperatura y la radiación directa sobre el plano de la cocina sustituimos directamente en los dos procedimientos de la norma.

24/07/2009

| Hora local | Rad. normal directa (65°) | Temperatura en cocina |
|------------|---------------------------|-----------------------|
| 12:00 | 710,32 | 40 |
| 12:10 | 724,53 | 73 |
| 12:20 | 743,46 | 86 |
| 12:30 | 762,83 | 92 |

16/07/2009

| Hora local | Rad. normal directa (65°) | Temperatura en cocina |
|------------|---------------------------|-----------------------|
| 13:00 | 788,46 | 40 |
| 13:10 | 794,37 | 78 |
| 13:20 | 814,57 | 90 |
| 13:30 | 830,07 | 92 |

Donde obtenemos unos valores de **potencia**.

| | 24/07/2009 – 12:00 h. | 16/07/2009 – 13:00 h. |
|--------------------------|------------------------------|------------------------------|
| P [W] | 481,36 | 554,29 |
| P_s [W] | 469,67 | 490,26 |

- **Recipiente destapado con aceite.**

Con el recipiente destapado y lleno con 250 ml. de aceite de girasol conocemos el valor de C ya calculado anteriormente:

$$C = 1836,20 \text{ [J/K]}$$

En función de los intervalos de temperatura y la radiación directa sobre el plano de la cocina sustituimos directamente en los dos procedimientos de la norma.

30/07/2009

| Hora local | Rad. normal directa (65°) | Temperatura en cocina |
|------------|---------------------------|-----------------------|
| 12:00 | 682,12 | 40 |
| 12:10 | 700,18 | 164 |
| 12:20 | 720,57 | 212 |
| 12:30 | 736,78 | 226 |

Donde obtenemos unos valores de **potencia**.

| | 30/07/2009 |
|--------------------------|-------------------|
| P [W] | 379,48 |
| P_s [W] | 384,34 |

Recipiente destapado vacío.

Con el recipiente destapado y vacío conocemos el valor de C ya calculado anteriormente:

$$C = 1435,20 \text{ [J/K]}$$

En función de los intervalos de temperatura y la radiación directa sobre el plano de la cocina sustituimos directamente en los dos procedimientos de la norma.

30/07/2009

| Hora local | Rad. normal directa (65°) | Temperatura en cocina |
|------------|---------------------------|-----------------------|
| 13:00 | 766,71 | 40 |
| 13:10 | 773,09 | 204 |
| 13:20 | 784,98 | 220 |
| 13:30 | 801,60 | 217 |

Donde obtenemos unos valores de **potencia**.

| | 30/07/2009 |
|--------------------------|-------------------|
| P [W] | 392,29 |
| P_s [W] | 356,67 |

7.2. OFICINA DE NORMAS DE LA INDIA

Como se ha explicado en su apartado correspondiente a la normativa, con este modelo vamos a obtener dos figuras de mérito características de esta norma, cuya aplicación es de mucha utilidad para realizar una comparativa directa entre los diferentes dispositivos de cocción solar.

Las figuras de mérito, F_1 y F_2 , quedan representadas con las siguientes ecuaciones:

- **Figura de mérito 1:**

$$F_1 = \frac{\eta_0}{(UF')_{st}} = \frac{A}{A_a} \cdot \frac{(T_{st} - T_a)}{I}$$

- **Figura de mérito 2:**

$$F_2 = -\frac{F_1 \cdot C}{A(t_2 - t_1)} \cdot \ln \left[\frac{1 - \frac{A}{A_a \cdot I \cdot F_1} \cdot (T_2 - T_a)}{1 - \frac{A}{A_a \cdot I \cdot F_1} \cdot (T_1 - T_a)} \right] \approx \eta_0$$

Para calcular estas dos premisas, a parte de conocer los valores de temperatura y radiación de cada día, tenemos que conocer la relación entre las áreas del recipiente (A) y la apertura de la cocina (A_a), las cuales ya han sido calculadas con anterioridad.

Figura de mérito 1:

Conocidas las áreas, se pasa a fijar las condiciones de estancamiento obtenidas de los ensayos para nuestra cocina. Este punto ha sido obtenido en el ensayo realizado con aceite de girasol.

30/07/2009

| Hora local | Temperatura ambiente | Rad. normal directa (65°) | Temperatura en cocina |
|--------------|----------------------|---------------------------|-----------------------|
| 12:00 | 27,15 | 682,12 | 40 |
| 12:10 | 27,47 | 700,18 | 164 |
| 12:20 | 28,05 | 720,57 | 212 |
| 12:30 | 27,98 | 736,78 | 226 |

Donde:

$$C = 1836,20 \text{ [J/K]}$$

Obtenemos:

$$F_1 = \frac{A}{A_a} \cdot \frac{(T_{st} - T_a)}{I}$$
$$F_1 = \frac{0,2235}{1,54} \cdot \frac{(226 - 28)}{736,78}$$

$$F_1 = 0,026 \left[\frac{K \cdot m^2}{W} \right]$$

Figura de mérito 2:

- Recipiente tapado con agua.

$$C = 9586,85 \text{ [J/K]}$$

16/07/2009

| Hora local | Temperatura ambiente | Radiación normal directa (65°) | Temperatura en cocina | F ₂ |
|------------|----------------------|--------------------------------|-----------------------|----------------|
| 12:10 | 28,39 | 700,63 | 40 | |
| 12:20 | 28,66 | 709,37 | 84 | 0,793 |
| 12:30 | 29,29 | 734,28 | 97 | 0,275 |

24/07/2009

| Hora local | Temperatura ambiente | Radiación normal directa (65°) | Temperatura en cocina | F ₂ |
|------------|----------------------|--------------------------------|-----------------------|----------------|
| 13:00 | 25,10 | 800,28 | 40 | |
| 13:10 | 25,37 | 809,60 | 94 | 0,871 |
| 13:20 | 25,83 | 816,48 | 97 | 0,056 |

Los resultados del rendimiento característico de la cocina para cada ensayo se obtendrán del primer intervalo de subida, puesto que en el segundo se alcanza la temperatura de estancamiento antes de llegar a los 10 minutos de intervalo, por lo que el valor no es real. El valor de **F₂ medio** que va a presentar la cocina cuando se realizan los ensayos dentro de los intervalos de tiempo marcados frente a unas condiciones ambientales del mismo orden va a ser:

$$\eta_0 = 0,832$$

- Recipiente destapado con agua.

$$C = 8751,95 \text{ [J/K]}$$

24/07/2009

| Hora local | Temperatura ambiente | Radiación normal directa (65°) | Temperatura en cocina | F ₂ |
|------------|----------------------|--------------------------------|-----------------------|----------------|
| 12:00 | 23,67 | 710,32 | 40 | |
| 12:10 | 23,91 | 724,53 | 73 | 0,527 |
| 12:20 | 24,15 | 743,46 | 86 | 0,217 |
| 12:30 | 24,25 | 762,83 | 92 | 0,1 |

16/07/2009

| Hora local | Temperatura ambiente | Radiación normal directa (65°) | Temperatura en cocina | F ₂ |
|------------|----------------------|--------------------------------|-----------------------|----------------|
| 13:00 | 29,78 | 788,46 | 40 | |
| 13:10 | 29,96 | 794,37 | 78 | 0,569 |
| 13:20 | 30,36 | 814,57 | 90 | 0,179 |
| 13:30 | 30,68 | 830,07 | 92 | 0,03 |

Los resultados del rendimiento característico de la cocina para cada ensayo se obtendrán del primer intervalo de subida, puesto que en el segundo se alcanza la temperatura de estancamiento antes de llegar a los 10 minutos de intervalo, por lo que el valor no es real. El valor de **F₂ medio** que va a presentar la cocina cuando se realizan los ensayos dentro de los intervalos de tiempo marcados frente a unas condiciones ambientales del mismo orden va a ser:

$$\eta_0 = 0,548$$

7.3. COMITÉ EUROPEO DE INVESTIGACIÓN SOBRE LA COCINA SOLAR. PRUEBA ESTÁNDAR (ECSCR)

Todo lo desarrollado hasta el momento ha ido de la mano de este estándar europeo, puesto que las hojas de datos, como se especificó antes de su desarrollo, han sido tomadas según especifica esta norma.

El comité europeo establece las bases para la toma de datos y la posibilidad de realizar una comparativa objetiva entre cocinas con dichas tablas y valores. Lo que queda por especificar en la norma son las componentes subjetivas que describen nuestro dispositivo de cocción.

Según la experiencia de cocinar con una cocina solar parabólica y respecto a su comportamiento frente a otros dispositivos solares, se puede llegar a las siguientes conclusiones:

- Aunque su estructura y principio de **funcionamiento** es fácil de comprender, la cocina parabólica requiere de cierta experiencia para llegar a trabajar a su máximo rendimiento, puesto que es necesario controlar los ángulos de incidencia de los rayos solares para orientar correctamente el dispositivo en el ángulo adecuado. Se puede decir que no es difícil de manejar, pero sí se necesita conocer la **orientación** necesaria en cada momento para que el foco se encuentre bien encuadrado en su punto de incidencia.
- Esta orientación que se debe de dar a la cocina cada corto periodo de tiempo, hace de ella un dispositivo que requiere una **vigilancia** constante a la hora de ser utilizada, por lo que se hace difícil compaginar cualquier tipo de actividad paralela a la utilización de la cocina. Nos hace estar muy pendientes de ella.
- A la hora de cocinar o calentar cualquier tipo de alimento, se ha demostrado que este dispositivo alcanza **temperaturas** muy altas que nos permiten llevar a cabo la labor de cocinar sin ningún problema, tanto si se quiere asar o freír. A parte de alcanzar temperaturas muy altas, el **tiempo** empleado en

ello es muy reducido (teniendo siempre en cuenta que estamos cocinando únicamente con energía solar) en comparación a otros dispositivos solares, por lo que se gana mucho tiempo con su uso.

- Esta característica nos lleva a hablar de la peligrosidad de la cocina, puesto que las temperaturas tan altas, a parte de ser beneficiosas para reducir tiempos de cocción, son muy peligrosas, y si la cocina se deja desorientada a cualquier otro punto que no sea su foco, hay un alto **riesgo de incendio**. Hay que tener mucho cuidado tanto si el foco está orientado al suelo u otro elemento, como si lo está hacia la propia persona, puesto que, por experiencia propia durante los ensayos realizados a lo largo de este proyecto, en apenas un segundo puede provocar una **quemadura** en la piel.
- También es peligroso el hecho de que la cocina presente una estructura grande y demasiado **inestable**, puesto que ante cualquier alteración externa tal como **fuertes vientos** (es por ello que la norma no nos deja realizar ensayos a partir de una cierta velocidad del viento), provoca que la cocina oscile mucho y la olla se mueva conjuntamente con ella. Si esta olla está llena de agua hirviendo o aceite, se hace muy peligroso acercarse o intentar manejar el dispositivo, por lo que se necesita estar provisto de materiales, tales como guantes aislantes de calor, para intentar coger la olla.
- En caso de que se utilice ante condiciones favorables, es muy positivo que la cocina no presente ningún tipo de habitáculo cerrado tales como las cocina de acumulación, por lo que la olla o los alimentos que se encuentran en ella presentan una **facilidad de acceso** muy alta.
- El dispositivo parabólico es fácil de **limpiar** y **mantener**, puesto que lo único que necesita es que sus paredes reflectantes se encuentren limpias y uniformes, evitando alteraciones en su superficie tales como arañazos, polvo o cualquier tipo de manchas. Mucho más complicado se presenta su **almacenamiento**, puesto que su gran tamaño y que no pueda ser plegada, hace de la cocina un elemento difícil de guardar, por lo que se necesita de

un habitáculo amplio y aislado para poder guardarlo y mantenerlo alejado de las condiciones climatológicas adversas.

- Por último toca hablar de su **precio**. La comercialización de esta cocina presenta precios bastante altos (en comparación con otras cocinas artesanales de “acumulación”) debido a los materiales que la constituyen. En general, las cocinas de concentración presentan un principio de funcionamiento de tal necesidad de exactitud, que los materiales a utilizar deben de ser rígidos y presentar la forma parabólica característica que cumpla con los principios de la parábola. Aunque en todos los casos, estos precios quedan justificados por los tiempos tan ajustados de cocción que presentan.

7.4. DESARROLLO DE UN MODELO CERO-DIMENSIONAL

Para llevar a cabo el desarrollo de este modelo cero-dimensional se deben seguir los pasos especificados en el apartado de la norma.

Lo primero es obtener la **curva de enfriamiento**, la cual se da a desarrollar de manera experimental con los datos de bajada de temperatura obtenidos en los ensayos, siempre con la olla tapada. Este enfriamiento se comportará de igual forma para cada uno de los días frente a una temperatura ambiente media poco variable, puesto que la radiación en este caso no afecta a la olla a estudiar.

Con la fórmula ya desarrollada y conocida sólo se necesita saber los datos de temperatura de bajada en la olla a la sombra. Estos datos fueron tomados el 17/06/2009 justo después del ensayo de calentamiento de la cocina hasta su temperatura de estancamiento del agua.

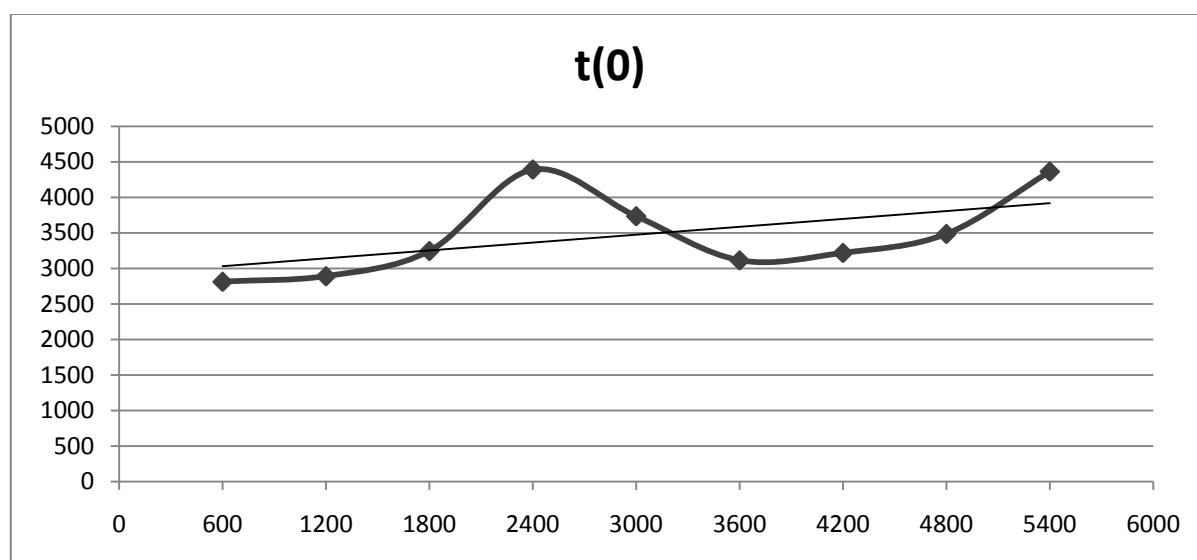
Como se ha dicho hasta ahora, aunque los datos de partida correspondan a un día en particular, los resultados serán característicos al comportamiento general de la olla:

| Hora local | Temperatura ambiente | Temperatura en cocina |
|------------|----------------------|-----------------------|
| 11:30 | 23,28 | 40 |
| 11:40 | 23,24 | 76 |
| 11:50 | 23,53 | 97 |
| 12:00 | 24,23 | 97 |
| 12:10 | 24,05 | 83 |
| 12:20 | 24,62 | 72 |
| 12:30 | 24,61 | 64 |
| 12:40 | 25,08 | 59 |
| 12:50 | 25,54 | 54 |
| 13:00 | 25,42 | 49 |
| 13:10 | 25,55 | 45 |
| 13:20 | 26,51 | 42 |
| 13:30 | 26,36 | 40 |

Puesto que se tienen valores experimentales del enfriamiento de la olla a la sombra, cargada con agua y tapada, podemos hacer la estimación del **tiempo de enfriamiento** (t_0) con la ecuación 1:

$$t_0 = - \frac{(t_2 - t_1)}{\text{Ln} \frac{(T_2 - T_a)}{(T_1 - T_a)}}$$

| Hora local | Temperatura ambiente | Temperatura en cocina | t_0 [seg.] |
|------------|----------------------|-----------------------|--------------|
| 12:00 | 24,23 | 97 | |
| 12:10 | 24,05 | 83 | 2812 |
| 12:20 | 24,62 | 72 | 2889 |
| 12:30 | 24,61 | 64 | 3245 |
| 12:40 | 25,08 | 59 | 4392 |
| 12:50 | 25,54 | 54 | 3735 |
| 13:00 | 25,42 | 49 | 3113 |
| 13:10 | 25,55 | 45 | 3218 |
| 13:20 | 26,51 | 42 | 3485 |
| 13:30 | 26,36 | 40 | 4364 |
| | | | 3472 |



Valores de t_0 a cada intervalo de 10 minutos

Con el tiempo de enfriamiento calculado, se puede entrar en su propia ecuación y sustituir su valor para obtener los datos de **A** y **UF'** respectivos a cada intervalo (ecuación 2).

$$t_0 = \frac{C}{A \cdot UF'}$$

Donde C ya es conocido para los casos de la olla de aluminio llena de 1750 ml. de agua, puesto que ya ha sido calculado y utilizado en el desarrollo de las normas anteriores.

Recipiente tapado

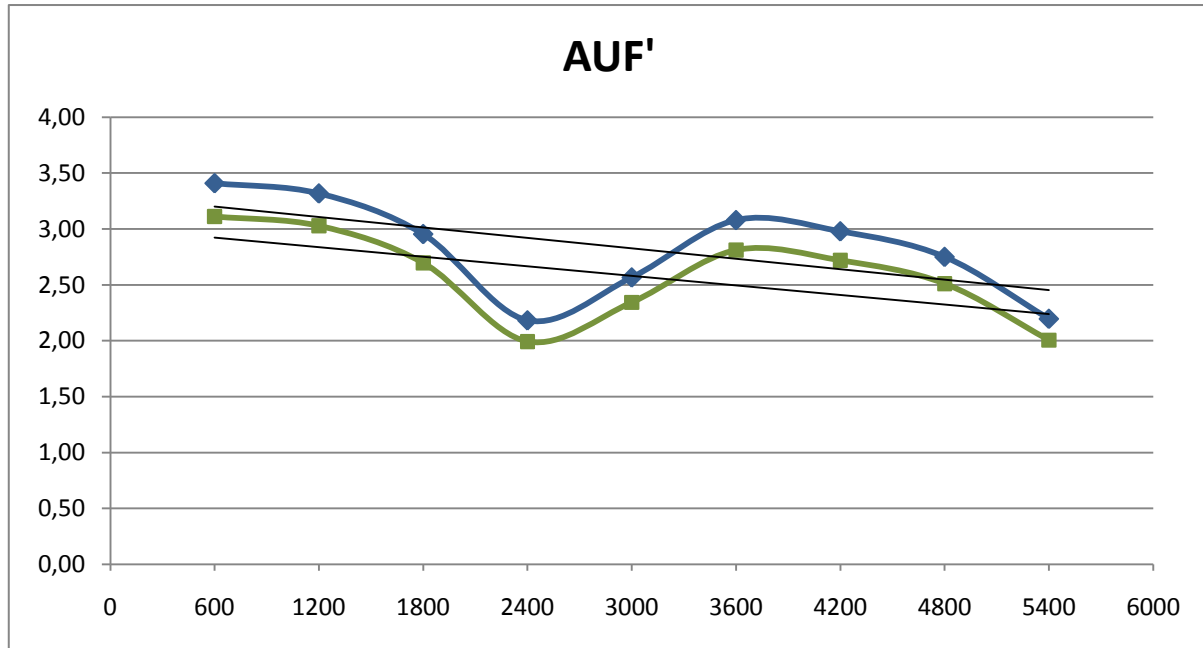
$$C = 9586,85 \text{ [J/K]}$$

Recipiente destapado

$$C = 8751,95 \text{ [J/K]}$$

Con ambos valores, C y t_0 , podemos despejar en la ecuación 2 y obtener los valores de **AUF'** [W/K] para cada intervalo.

| Hora local | Temperatura ambiente | Temperatura en cocina | t_0 [seg.] | AUF' Recip. Tapado [W/K] | AUF' Recip. Destapado [W/K] |
|------------|----------------------|-----------------------|--------------|--------------------------------|-----------------------------------|
| 12:00 | 24,23 | 97 | | | |
| 12:10 | 24,05 | 83 | 2812 | 3,41 | 3,11 |
| 12:20 | 24,62 | 72 | 2889 | 3,32 | 3,03 |
| 12:30 | 24,61 | 64 | 3245 | 2,95 | 2,70 |
| 12:40 | 25,08 | 59 | 4392 | 2,18 | 1,99 |
| 12:50 | 25,54 | 54 | 3735 | 2,57 | 2,34 |
| 13:00 | 25,42 | 49 | 3113 | 3,08 | 2,81 |
| 13:10 | 25,55 | 45 | 3218 | 2,98 | 2,72 |
| 13:20 | 26,51 | 42 | 3485 | 2,75 | 2,51 |
| 13:30 | 26,36 | 40 | 4364 | 2,20 | 2,01 |
| | | | | 2,76 | 2,52 |



Valores de AUF' a cada intervalo de 10 minutos

Los gráficos anteriores muestran la tendencia correcta que van a seguir las variables estudiadas de la cocina solar. Así, el tiempo de enfriamiento muestra una tendencia ascendente debido a que las pérdidas de la olla con el medio, a cada intervalo que pasa, son menores (puesto que el incremento de temperatura también lo es).

Las componentes AUF' siguen una tendencia descendente debido únicamente a la variable U, puesto que tanto A como F' se comportan de forma constante en la cocina. Esta variable U, que hace referencia al coeficiente global de transferencia de calor, va a descender por el mismo motivo que crece la temperatura de enfriamiento en su caso, la transferencia de calor de la olla con el medio. Según descende la temperatura de esta olla, menos transferencia de energía en forma de calor se da con el medio debido a que el incremento de temperatura olla-ambiente es menor.

Eficiencia óptica

La determinación de esta eficiencia la vamos a calcular con las temperaturas de calentamiento de la olla con agua en su interior. Como se ha hecho en las normativas anteriormente desarrolladas, vamos a tomar los valores de calentamiento de los días 16 y 24 de julio para realizar los cálculos en cada intervalo de hora.

Para obtener dicho valor nos vamos a ayudar de la *ecuación 3*:

$$\eta_0 = \frac{C}{A_a \cdot I \cdot t_0} \left[\frac{(T_2 - T_a) - (T_1 - T_a) \cdot e^{\left(-\frac{t_2 - t_1}{t_0}\right)}}{1 - e^{\left(-\frac{t_2 - t_1}{t_0}\right)}} \right]$$

Donde conocemos todas las variables que participan en ella. El área de apertura A_a de la cocina y el valor de C , que sigue siendo el mismo referente a la cocina llena de agua, tanto con la tapa de la olla puesta como sin ella.

El valor de t_0 va a ser considerado como el valor medio de todo el intervalo de enfriamiento cuyo valor se mantiene constante.

$$t_0 = 3472 \text{ [seg.]}$$

Los resultados del rendimiento característico de la cocina para cada ensayo se obtendrán, como se ha especificado durante la norma, del primer intervalo de subida en cada caso. Este rendimiento, como es lógico, presentará un valor más alto cuando la radiación incidente sobre la cocina es de mayor intensidad (a las 13:00 horas), y ligeramente más bajo cuando se realiza antes del medio día solar (12:00 horas).

- Recipiente tapado con 1750 ml. de agua.

Los rendimientos correspondientes a cada uno de los intervalos de temperatura de calentamiento va a ser los que se muestran en la siguiente tabla.

16/07/2009

| Hora local | Temperatura ambiente | Radiación normal directa (65°) | Temperatura en cocina | η_0 |
|------------|----------------------|--------------------------------|-----------------------|----------|
| 12:10 | 28,39 | 700,63 | 40 | |
| 12:20 | 28,66 | 709,37 | 84 | 0,734 |
| 12:30 | 29,29 | 734,28 | 97 | 0,34 |

24/07/2009

| Hora local | Temperatura ambiente | Radiación normal directa (65°) | Temperatura en cocina | η_0 |
|------------|----------------------|--------------------------------|-----------------------|----------|
| 13:00 | 25,10 | 800,28 | 40 | |
| 13:10 | 25,37 | 809,60 | 94 | 0,791 |
| 13:20 | 25,83 | 816,48 | 97 | 0,193 |

Los resultados del rendimiento característico de la cocina para cada ensayo se obtendrán del primer intervalo de subida, puesto que en el segundo se alcanza la temperatura de estancamiento antes de llegar a los 10 minutos de intervalo, por lo que el valor no es real. El **rendimiento medio** que va a presentar la cocina cuando se realizan los ensayos va a ser:

$$\eta_0 = 0,763$$

- Recipiente destapado con 1750 ml. de agua.

Los rendimientos correspondientes a cada uno de los intervalos de temperatura de calentamiento va a ser los que se muestran en la siguiente tabla.

24/07/2009

| Hora local | Temperatura ambiente | Radiación normal directa (65°) | Temperatura en cocina | η_0 |
|------------|----------------------|--------------------------------|-----------------------|----------|
| 12:00 | 23,67 | 710,32 | 40 | |
| 12:10 | 23,91 | 724,53 | 73 | 0,56 |
| 12:20 | 24,15 | 743,46 | 86 | 0,32 |
| 12:30 | 24,25 | 762,83 | 92 | 0,237 |

16/07/2009

| Hora local | Temperatura ambiente | Radiación normal directa (65°) | Temperatura en cocina | η_0 |
|------------|----------------------|--------------------------------|-----------------------|----------|
| 13:00 | 29,78 | 788,46 | 40 | |
| 13:10 | 29,96 | 794,37 | 78 | 0,565 |
| 13:20 | 30,36 | 814,57 | 90 | 0,275 |
| 13:30 | 30,68 | 830,07 | 92 | 0,157 |

Los resultados del rendimiento característico de la cocina para cada ensayo se obtendrán del primer intervalo de subida, puesto que en el segundo se alcanza la temperatura de estancamiento antes de llegar a los 10 minutos de intervalo, por lo que el valor no es real. El **rendimiento medio** que va a presentar la cocina cuando se realizan los va a ser:

$$\eta_0 = 0,563$$

8. CONCLUSIONES DE LAS NORMATIVAS

- **Rendimiento óptico**

Una vez realizados en el apartado anterior todos los cálculos que se requieren para poder caracterizar la cocina solar según cada una de la normativa vigente sobre la misma, se pasa a realizar unos comentarios y obtener unas conclusiones.

El dato principal y más importante que se busca para encuadrar dentro de un marco comparativo a cualquier dispositivo de cocción solar es el propio **rendimiento** de la cocina solar. La cocina solar parabólica sujeta a este estudio ha obtenido dicho rendimiento en dos normas diferentes, la “Norma India” y el “Modelo Cero-dimensional”, y para dos estados opuestos, con la tapa del recipiente puesta y sin ella.

Los datos que a continuación se muestran son los obtenidos de la propia norma:

| | NORMA INDIA | MOD. CERO-DIMENSIONAL |
|----------------------|--------------------|------------------------------|
| Recipiente tapado | 0,832 | 0,763 |
| Recipiente destapado | 0,548 | 0,563 |

El orden de magnitud que ambos modelos presentan después del estudio es muy parejo, ambos obtenidos frente a diferentes parámetros de cálculo (como se puede ver en la norma). Esto quiere decir que ambos modelos nos dan valores reales del comportamiento de nuestro dispositivo solar.

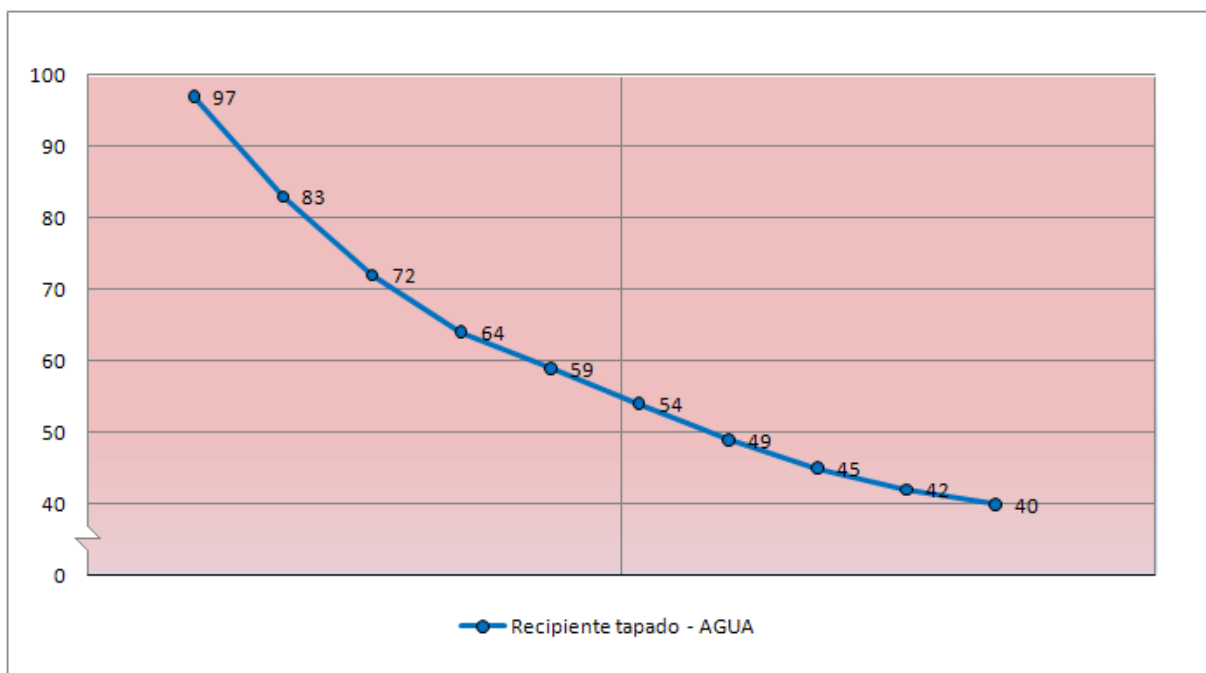
Aunque estos valores sean cercanos, cabe preguntarse el porqué no son del todo iguales, si se han realizado para los mismos días y con los mismos datos de partida. La respuesta a esta diferencia en los rendimientos de una norma frente a la

otra está en las condiciones que se han tomado a la hora de calcular el “**coeficiente de transferencia de calor**”.

Si nos fijamos en cada una de estas dos normas desarrolladas en el *apartado 5* del proyecto, podemos ver estas diferencias.

La Norma India establece en su primera figura de mérito (F_1) el cálculo del coeficiente de transferencia de calor en base al punto exacto en el que se da la **temperatura de estancamiento** de la cocina, cuando esta ha llegado a los conocidos 226 °C en el ensayo con aceite. No establece un intervalo de subida ni bajada, únicamente el punto exacto en el que se da este estado de estancamiento.

Frente a este modelo y en el mismo apartado se puede ver el desarrollo del modelo cero-dimensional. Este último requiere de la **curva de enfriamiento** para obtener el valor del coeficiente de transferencia de calor, no de la temperatura de estancamiento como el caso anterior. Además, como se ha visto en su desarrollo, esta curva de enfriamiento la obtenemos del descenso térmico que presenta la olla de la cocina a la sombra cuando de encuentra con agua hirviendo, por lo que el ensayo de estancamiento no entra en juego para el cálculo del rendimiento de este modelo.



En resumen, la utilización de la curva de enfriamiento es la que nos va a dar valores ligeramente más restrictivos de rendimiento frente al uso de la temperatura de estancamiento.

- **Potencia**

Dejando a un lado el valor del rendimiento óptico de la cocina, podemos ver el comportamiento de la cocina desde otro punto de vista, dando valor a los datos de **potencia** obtenidos por la normativa americana ASAE S580.

Estos valores de potencia van a ser estudiados y comparados en el siguiente apartado, “*comparativa con una cocina convencional*”.

9. CONCLUSIONES GENERALES

9.1. COMPARATIVA CON UNA COCINA CONVENCIONAL

El objetivo que persiguen los dispositivos de cocción solares es el llevar a cabo la cocción de cualquier alimento sin más ayuda que la energía procedente del sol de una forma sostenible para el medio ambiente.

Hasta ahora la forma más rápida, cómoda y estandarizada de cocinar que se conoce es mediante la utilización de los aparatos de cocina instalados en el hogar, ya sean cocinas de inducción y vitrocerámicas (eléctricas) o cocinas de gas. El comportamiento y rendimiento de estos aparatos es muy bueno y cada vez mejor con las alternativas eléctricas que siguen desarrollándose día a día, y aunque su precio sea alto en comparación con otras formas de cocción, la rentabilidad y comodidad que de ellas se obtiene en forma de tiempo empleado las hace un elemento básico en el día a día de cualquier persona de los países denominados como desarrollados.

Es aquí donde entra nuestro proyecto. De nada vale todo lo estudiado hasta ahora si lo que se persigue es suplantar la cocina convencional; puesto que, a parte de las lagunas que presenta la utilización ante determinadas condiciones climatológicas de nuestro dispositivo solar, el gasto energético de la cocina es insignificante con el gasto energético medio de un hogar, por lo que el punto de vista económico o de gasto energético no se presenta como un punto a favor de las cocinas solares.

Partiendo de la base de que la utilización mayoritaria que se va a realizar de la cocina solar va a ser la de medio de cocción de alimentos en los países subdesarrollados de climas cálidos (*véase apartado 3.2. Impacto social*), podemos hacernos una idea de cómo se comportará nuestro dispositivo solar frente a una cocina convencional, y con los únicos parámetros que podemos entrar en la comparativa son la potencia y los tiempos de cocción que ambas llegan a desarrollar.

| |
|---|
| <i>Este apartado carece de todo valor que no sea tomado a modo orientativo.</i> |
|---|

9.1.1. TIEMPOS DE CALENTAMIENTO

Los tiempos característicos que presenta la cocina solar parabólica son los referentes al calentamiento tanto del agua como del aceite. Este último es difícil de comparar puesto que en nuestro dispositivo solar no llega a su temperatura máxima, si no a la temperatura de estancamiento de la cocina, por lo que la única comparativa válida será con el recipiente lleno de agua, sobre el que si llega a su punto de máxima temperatura, la de ebullición.

De las hojas de datos obtenidas en los ensayos y para el caso en el que el recipiente se encuentra **tapado** a las 13:00 hora local (máxima potencia, mínimo tiempo de calentamiento) obtenemos unos valores de tiempo medio de calentamiento, de 40 °C hasta la ebullición, de entre 10 y 12 minutos aproximadamente.

Frente a estos valores podemos ver el comportamiento de una cocina convencional. De los ensayos realizados con estos dispositivos eléctricos y gracias a la experiencia y amplio conocimiento que de ellos se tiene debido a su evolución, estas cocinas tienen unos intervalos de tiempo fijos, ya sean de inducción o vitrocerámicas. Estos tiempos medios van a estar en torno a los 5-6 minutos* en el caso de las placas de inducción y entre 8-9 minutos* para las placas vitrocerámicas.

| | Cocina solar | Cocina Inducción | Vitrocerámica |
|--|--------------|------------------|---------------|
| Tiempos a ebullición medios en minutos | 10-12 | 5-6* | 8-9* |

* Valores de tiempo medios obtenidos al calentar una cantidad de litro y medio de agua en un recipiente tapado sobre varias cocinas de diferentes proveedores. Todos los ensayos son realizados a máxima potencia sobre un fuego de 1800 W, tanto en placas de inducción como vitrocerámicas. Fuente: "laboratorio CONSUMER".

La cantidad de agua en todos los casos es semejante, por lo que la diferencia principal recae únicamente en los tipos de cocina. Se puede ver que los tiempos que presenta la cocina solar respecto a las convencionales no están tan alejados como se puede pensar en un primer momento antes de realizar ningún ensayo, ya que quedan relativamente cercanos a los que presenta la placa vitrocerámica.

Aunque se lleguen a ver estos valores comparativos tan cercanos, tenemos que seguir teniendo en cuenta la limitación de potencia de calentamiento que presenta el dispositivo solar que se está estudiando, por lo que con el hecho de obtener unos resultados de tiempo de calentamiento tan eficientes y relativamente cercanos a la realidad no puede ser el único punto a destacar de todo el estudio.

9.1.2. POTENCIA DE CALENTAMIENTO

Los valores de potencia de las cocinas convencionales vienen prefijados para cada uno de sus diámetros de fuego, es así que suelen estar entre los 1400 W de los fuegos más pequeños a los 2100 W de los de mayor diámetro. En total, una cocina convencional puede llegar a desarrollar unos 6500 W de media en el caso de las placas vitrocerámicas y hasta los 7200 W las de inducción.

Partiendo del ensayo expuesto anteriormente donde se han especificado los tiempos de ebullición medios para ambos tipos de cocina, vemos que estos se han llevado a cabo para una potencia de 1800 W en la cocina, lo que explica la diferencia de tiempos obtenidos en referencia a la cocina solar.

Haciendo referencia al apartado donde se ha desarrollado la normativa, cabe recordar que una de las normas no nos daba un rendimiento tangible de la cocina, sino que nos daba un valor de potencia normalizada, la norma americana ASAE S580. Este valor de potencia máximo (cuando la olla se encuentra llena de agua y tapada a las 13:00 hora local) es de 863 W (no normalizada), cerca de la

mitad de potencia de calentamiento con la que se ha realizado el estudio de las cocinas convencionales.

9.1.3. RELACIÓN TIEMPO-POTENCIA

Si tenemos en cuenta ambas premisas, tanto el tiempo de calentamiento como la potencia, y comparando la cocina solar parabólica con las placas de inducción (las más eficientes) vemos como con la mitad de potencia de calentamiento, el dispositivo solar ha tardado cerca del doble de tiempo en llegar a ebullición que la cocina convencional.

| | Cocina solar | Cocina inducción |
|-------------------------------|--------------|------------------|
| Tiempo a ebullición [minutos] | 10-12 | 5-6 |
| Potencia [W] | 863 | 1800 |

Si todo esto se saca del campo de la experiencia y se introduce en el campo del cálculo, podemos ver de una forma más fiable la conexión que existe entre ambas cocinas. La relación entre ambas la sacamos de la fórmula de cálculo de la potencia. Esta fórmula es, como se ha especificado en la norma:

$$P = \left(\frac{T_2 - T_1}{t} \right) C$$

Puesto que C es constante (en todos los casos tomamos el mismo tipo de fluido, agua, y en las mismas cantidades) se puede ver cómo la relación de la potencia y el tiempo es inversamente proporcional.

En nuestros dos casos sujetos a estudio se da la relación que al doble de potencia, mitad de tiempo de ebullición, y viceversa. Esto se traduce en un mismo

comportamiento de ambas cocinas a iguales estados de cocción, y por lo tanto, **iguales rendimientos térmicos**.

Pero no sólo esta relación potencia-tiempo es la que nos va a dar una explicación de que ambas cocinas trabajen bajo los mismos intervalos de rendimiento, sino que podemos obtener directamente estos valores de eficiencia para ver si la relación anteriormente expuesta tiene realmente un valor experimental.

Las cocinas convencionales presentan unos índices de rendimiento térmico en función del modelo, así las placas vitrocerámicas presentan un rendimiento medio del 0,6* mientras que en el caso de las de inducción alcanza el **0,9*** (sin tener en cuenta rendimientos de la red eléctrica, únicamente de la cocina).

Por otra parte, si tomamos los valores de rendimientos calculados con las normas desarrolladas a lo largo del proyecto, vemos que los valores del rendimiento de nuestra cocina solar parabólica eran los siguientes:

| | NORMA INDIA | MOD. CERO-DIMENSIONAL |
|-------------|-------------|-----------------------|
| Rendimiento | 0,832 | 0,763 |

Con esto podemos volver a demostrar cómo los rendimientos calculados tanto con la norma india como con el modelo cero dimensional desarrollado por Antonio Lecuona (este último un poco más restrictivo) van a presentar unos rendimientos ligeramente más bajos que los que presenta una cocina de inducción y, por lo tanto, su comportamiento a la hora de calentar agua hasta ebullición, salvando las diferencias, va a ser semejante.

* Datos de rendimiento térmico de la cocina. Fuente: "Ministerio de Industria, Turismo y Comercio".

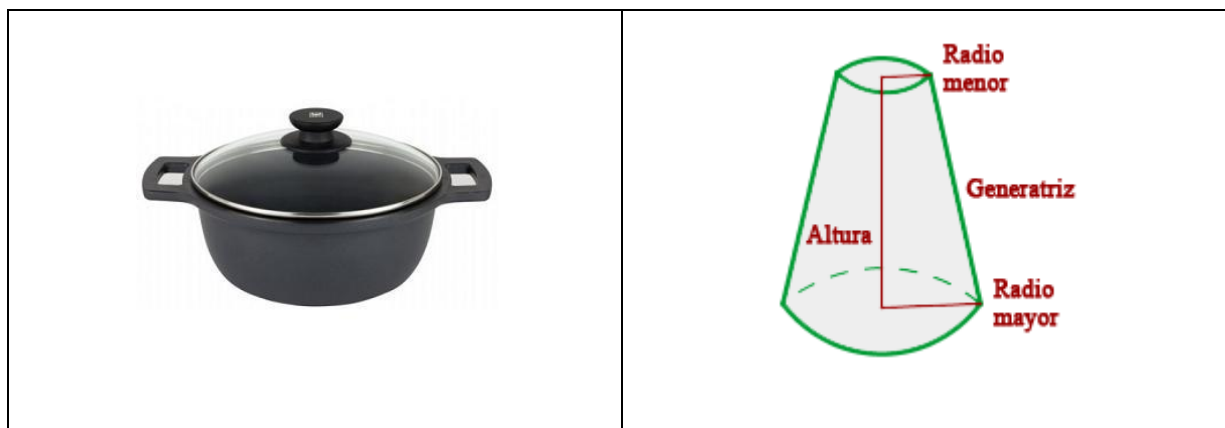
10. ANEXOS

• **PROPIEDADES DEL AGUA**

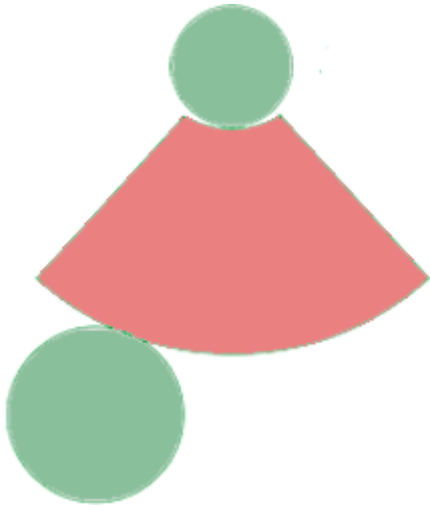
| Temperatura T [°C] | Densidad ρ_{agua} [Kg/m ³] | Calor específico C _p [J/kg.K] | Viscosidad μ [Pa.s] | Tensión superficial. σ_{agua} [N/m] |
|--------------------------|--|--|-------------------------------|---|
| 0 | 999.8 | 421.76 | 1793x10 ⁻⁶ | 0.07564 |
| 5 | 1000.0 | | | |
| 10 | 999.7 | 419.21 | 1307x10 ⁻⁶ | 0.07423 |
| 15 | 999.1 | | | |
| 20 | 998.2 | 418.18 | 1002x10 ⁻⁶ | 0.07275 |
| 25 | 997.0 | | | |
| 30 | 995.6 | 417.84 | 797.7x10 ⁻⁶ | 0.07120 |
| 35 | 994.1 | | | |
| 40 | 992.2 | 417.85 | 653.2x10 ⁻⁶ | 0.06960 |
| 45 | 990.2 | | | |
| 50 | 988.1 | 418.06 | 547.0x10 ⁻⁶ | 0.06794 |
| 55 | 985.7 | | | |
| 60 | 983.2 | 418.43 | 466.5x10 ⁻⁶ | 0.06624 |
| 65 | 980.6 | | | |
| 70 | 977.8 | 418.95 | 404.0x10 ⁻⁶ | 0.06447 |
| 75 | 974.9 | | | |
| 80 | 971.8 | 419.63 | 354.4x10 ⁻⁶ | 0.06267 |
| 85 | | | | |
| 90 | 965.3 | 420.5 | 314.5x10 ⁻⁶ | 0.06080 |
| 95 | | | | |
| 100 | 958.4 | 421.59 | 281.8x10 ⁻⁶ | 0.05891 |

- **ÁREA DEL RECIPIENTE DE LA COCINA: “TRONCO DE CONO”**

Cuerpo geométrico que resulta de cortar un cono por un plano paralelo a la base y separar la parte que contiene el vértice



Elementos:

| | |
|---|--|
|  | <p><u>Área lateral</u></p> $A_L = \pi(R + r) \cdot g$ <p><u>Área total</u></p> $A = \pi[g(R + r) + R^2 + r^2]$ <p><u>Volumen</u></p> $V = \frac{1}{3}h \cdot \pi(R^2 + r^2 + R \cdot r)$ |
|---|--|

- **MATERIAL NECESARIO PARA LOS ENSAYOS DE LA COCINA SOLAR**

- **Probeta**



- **Cronometro digital**



- **Guantes aislantes de calor**



- **Cinta adhesiva aislante**



- **Multímetro con su termopar**



IMPORTANTE

A parte de toda esta instrumentación que se muestra en el apartado anterior, la cual es indispensable para realizar cualquier tipo de ensayo de calentamiento sobre cualquier tipo de dispositivo de cocción solar, se recomienda durante todo el ensayo el uso de cremas protectoras, del factor adecuado, sobre aquellas partes del cuerpo expuestas directamente a la radiación solar, así como de diferentes prendas u objetos que permitan protegernos de la incidencia directa de los rayos del sol (gorras, gafas de sol o sombrillas son algunas soluciones válidas si no tenemos otra opción de protegernos).

Hay que tener en cuenta que las intensidades de radiaciones globales son muy importantes debido a los meses en los que se recomienda realizar los ensayos sobre las cocinas, además del tiempo que se necesita manejar dichos dispositivos bajo la radiación directa del sol, por lo que las quemaduras sobre la piel de la persona que lo maneja pueden llegar a ser de importancia.

11. BIBLIOGRAFÍA

DOCUMENTOS REFERENCIA.

- ENCICLOPEDIA “**OF ENERGY**”.
- “**SOLAR ENGINEERING OF THERMAL PROCESSES**”, J.A. Duffie, W.A. Beckman.
- Temario de la asignatura “**ENERGÍAS RENOVABLES**” impartida en cuarto curso de Ingeniería Industrial por la Universidad Carlos III de Madrid.

ENERGÍAS RENOVABLES - Energía solar.

- “*La energía en España 2008*”. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. Gobierno de España.
- “*Agroecología*”. Stephen R. Gliessman.
- “*Energía Renovables: Un enfoque político-ecológico*”. E. Menéndez Pérez.
- “*Energías renovables*”. IBERDROLA.
- “*Combustibles fósiles y geopolítica*”. Mariano Marzo.
- “*Solar Energy*”. H.P. Garg, J. Prakash.
- “*Tecnología solar*”. M. Ibañez Plana, J. R. Rossell Polo, J. I. Rossell Urrutia
- “*Aplicaciones de la Energía Solar*”. A. B. Meinel, M. P. Meinel.
- “*Propiedades ópticas de la materia*”. Luminotecnia 2002. INDALUX.

COCINAS SOLARES.

- “*20 años de cocinas solares en Chile*”. Pedro Serrano Rodríguez.

- *“Thermal test procedure for box-type solar cookers”*. S. C. Mullick, T. C. Kandpal, A. K. Saxena.
- *“Solar cooker reflector optical evaluation and desing evolution”*. Ross McCluney, Ph. D.
- *“Nonimaging Optics in solar energy”*. Joseph J. O’Gallagher.
- *“Solar cookers”*. S. K. Sharma.
- *“La cocina solar. El nuevo arte de cocinar de modo saludable y ecológico”*. J. GARCÍA.
- *“Performance evaluation of three solar concentrating Cookers”*. N.V. Patel, S.K. Philip.
- *“Introducción de la cocina solar en la isla de La Española”*. Dr. M. Félix Mendia Urkiola. Universidad del País Vasco.

NORMATIVA Y DESARROLLOS.

- *“Estimation of design parameters for termal performance evaluation of box-type solar cooker”*. Subodh Kumar. Instituto Indio de Tecnología.
- *“Solar oven testing and development Project”*. Centro Energético Solar de Florida (FSEC).
- *“Energy análisis of Solar cylindrical parabolic cooker”*. Patela Richard.
- *“Evaluating the internacional Standard procedure for testing solar cookers and reporting performance”*. Funk Paul.
- *“Development of a domestic concentrating Cooker”*. A.V. Sonune, S.K. Philip
- *“Fundamentos de la cocina solar”*. Antonio Lecuona.

11.1. PRINCIPALES ENLACES DE INTERÉS

- [“wikipedia.org”](http://wikipedia.org)

COMPORTAMIENTO DE LA RADIACIÓN SOBRE LA SUPERFICIE TERRESTRE

- Página oficial [“PVGIS”](http://PVGIS).

PROPIEDADES ÓPTICAS DE LA MATERIA

- [“opticsinfobase.org”](http://opticsinfobase.org)

ENERGÍA SOLAR

- Página oficial de la “Plataforma Solar de Almería”.
- Página oficial de “IBERDROLA”.
- [“nuevasenergias.wordpress.com”](http://nuevasenergias.wordpress.com)
- [“energieinfo.de”](http://energieinfo.de)

COCINAS SOLARES

- [“solarcooking.org”](http://solarcooking.org). Página oficial de Solar Cookers International.
- [“solarcooking.wikia.com”](http://solarcooking.wikia.com)
- [“sunoven.com”](http://sunoven.com)
- [“solarcookers-at-cantinawest.com”](http://solarcookers-at-cantinawest.com)
- [“cocinasolar.wordpress.com”](http://cocinasolar.wordpress.com)
- [“rahji.com”](http://rahji.com)

COCINAS CONVENCIONALES Y RED ELECTRICA.

- “*mityc.es*”. Página oficial del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. Gobierno de España.
 - “*idae.es*”. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía.
 - “*060.es*”. Catalogo general de publicaciones oficiales.
- “*ree.es*”. Página oficial de la Red Eléctrica de España.

